

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Транспортна інженерія»

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

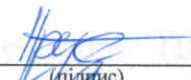
на тему: **Дослідження і розробка бульдозерного відвала-ущільнювача**
за освітньою програмою «Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання»

зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

Виконав: студент групи: ПМ2321

Керівник:

Нормоконтролер:


_____ (підпис)

/ Назар ПРУС /


_____ (підпис)

/ Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ /


_____ (підпис)

/ Олександр ПОСМІТЮХА /

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


_____ (підпис)

Дніпро – 2025

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Faculty of Transport Engineering

Department of Applied Mechanics and Materials Science

**Explanatory Note
to Master's Thesis**

on the topic:

Research and development of a bulldozer dump compactor

according to educational curriculum «Lifting and transport, road construction, land reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

Done by the student of the group: ПІМ2321 / Nazar PRUS /

Scientific Supervisor:  / Kazimir HLAVATSKYI /

Normative controller:  / Oleksandr POSMITIUKHA /

Dnipro – 2025

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія
Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство
Рівень вищої освіти: другий (магістерський)
Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання
Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
Сергій РАКША

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу _____
студенту Прус Назару Вікторовичу на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

1. Тема роботи: Дослідження і розробка бульдозерного відвала-ущільнювача

Керівник роботи: Главацький Казимир Цезарович, к. т. н., доцент

затверджені наказом від _____ "27" 10 2023 р. № 1041ст

2. Строк подання студентом роботи: 10.01.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Базові машини: промисловий гусеничний трактор тягового класу – 5 тс; бульдозер - 6 тс; бульдозер - 25 тс; бульдозер - 35 тс. Категорія ґрунту – I-III. Тип відвалу – неповоротний.

Тип приводу робочого обладнання – гідравлічний. Додаткове обладнання – ущільнювальне; умови використання – природно-кліматична зона України; особливості використання – в комплексі з автогрейдерами і ґрунтоущільнювальними машинами.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: технічне обґрунтування застосування бульдозера-ущільнювача

4.2 Основна частина: силовий розрахунок бульдозера-ущільнювача та розрахунок механізмів його робочого обладнання.

4.3 Науково-дослідна частина: дослідження параметрів робочого обладнання бульдозера-ущільнювача.

5. Перелік демонстраційного матеріалу:

Загальний вигляд бульдозера-ущільнювача; огляд технічних рішень-аналогів; схеми до силового розрахунку робочого обладнання та його механізмів; результати дослідження параметрів робочого обладнання; інші матеріали.

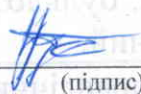
6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Технічне обґрунтування роботи	06.03.2024	виконан
2	Силовий розрахунок бульдозера-ущільнювача	24.06.2024	виконан
3	Дослідження технології застосування бульдозера-ущільнювача	20.11.2024	виконан
4	Загальні висновки та рекомендації	20.12.2024	виконан
5	Підготовка презентації роботи	10.10.2024	виконан
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.12.2024	виконан
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	22.01.2025	

Студент


(підпис)

Назар ПРУС

Керівник роботи


(підпис)

Казимир ГЛАВАЦЬКИЙ

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 55 сторінок

Найменування роботи: «Дослідження і розробка бульдозерного відвала-ущільнювача».

Ілюстрації: схем _____; рисунків _____;
графіків _____; фотографій _____;
таблиць _____.

Ключові слова: БУЛЬДОЗЕР, ВІДВАЛ, РОБОЧИЙ ОРГАН, НОЖОВА СИСТЕМА, УЩІЛЬНЕННЯ, СХЕМА, ПАРАМЕТРИ, РОЗРАХУНОК, СИЛА ТЯГИ, ПОТУЖНІСТЬ, ПРОДУКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ЕНЕРГОЄМНІСТЬ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ІНТЕНСИФІКАЦІЯ.

Текст реферату:

Мета роботи – розширення технологічних можливостей бульдозера при виконанні копання і часткового ущільнення ґрунту перед його остаточним ущільненням ґрунтоущільнювальними машинами.

В роботі виконано технічне обґрунтування застосування бульдозера-ущільнювача, силовий розрахунок бульдозера-ущільнювача, дослідження технології застосування бульдозера-ущільнювача, зроблені висновки та надані пропозиції щодо раціонального застосування машини із запропонованим робочим обладнанням.

Результати роботи опубліковані у збірнику тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених «Наука і сталий розвиток транспорту 2023» та у збірнику тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених «Наука і сталий розвиток транспорту 2024».

ЗМІСТ

ВСТУП	- 7
1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ БУЛЬДОЗЕРА-УЩІЛЬНЮВАЧА	-
1.1. Огляд тракторів українського виробництва	-
1.2. Огляд бульдозерів українського та зарубіжного виробництва	-
1.3. Визначення оптимальних тягово-швидкісних характеристик і класу бульдозерів	-
1.4. Попередні розробки та аналоги бульдозерного відвала-ущільнювача	-
1.5. Технічна пропозиція бульдозерного відвала-ущільнювача	-
1.6. Висновки за розділом	-
2. СИЛОВИЙ РОЗРАХУНОК БУЛЬДОЗЕРА-УЩІЛЬНЮВАЧА	-
2.1. Параметричний розрахунок бульдозера-ущільнювача	-
2.2. Тяговий розрахунок бульдозера-ущільнювача	-
2.3. Розрахунок стійкості бульдозера-ущільнювача	-
2.4. Висновки за розділом	-
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОЇ ЗАСТОСУВАННЯ БУЛЬДОЗЕРА-УЩІЛЬНЮВАЧА	-
3.1. Формування варіантів технологічних схем застосування бульдозера-ущільнювача	-
3.2. Теоретичні дослідження параметрів робочого обладнання	-
3.3. Визначення продуктивності робочого обладнання	-
3.4. Висновки за розділом	-
ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ	-
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	-

					ДПТ.630000.303.МРПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Прус			<i>Літ.</i>		<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Главацький			5		55	
<i>Реценз.</i>					УДУНТ, гр. ПМ2321			
<i>Н. Контр.</i>		Посмітюха						
<i>Затверд.</i>		Ракша						
Дослідження і розробка бульдозерного відвала-ущільнювача								

ВСТУП

У будівництві, дорожньо-будівельних роботах бульдозери займають важливе місце. Вибір оптимального обладнання базується на аналізі технічних характеристик, тягово-швидкісних параметрів і специфічних умов експлуатації.

У представленій роботі детально розглядається технічне обґрунтування застосування бульдозера-ущільнювача, включаючи огляд вітчизняної та зарубіжної техніки, визначення оптимальних характеристик та аналіз аналогів. Також виконуються силові розрахунки для забезпечення оптимальної роботи та продуктивності машини. Важливим аспектом є дослідження технології застосування даного обладнання, що дозволяє формувати ефективність роботи.

Робота містить три основних розділи. Технічне обґрунтування застосування бульдозера-ущільнювача, яке охоплює аналіз технічного парку тракторів і бульдозерів, вибір оптимальних характеристик, а також формування технічної пропозиції.

Силовий розрахунок, який включає параметричні та тягові розрахунки, а також перевірку стійкості.

Дослідження технології застосування бульдозера-ущільнювача, зокрема формування технологічних схем, теоретичний аналіз параметрів робочого обладнання та оцінка його продуктивності.

Ці аспекти дозволять комплексно оцінити ефективність бульдозера-ущільнювача, розробити оптимальні конструктивні рішення та розширити його технологічні можливості у різних галузях використання.

Мета роботи – розширення технологічних можливостей бульдозера при виконанні копання і часткового ущільнення ґрунту перед його остаточним ущільненням ґрунтоущільнювальними машинами.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1. ТЕХНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Загалом бульдозерне ущільнювальне обладнання розробляється на базі різних шасі: колісних, гусеничних, промислових, сільськогосподарських, комбінованих тракторів, також можуть бути спеціальні шасі.

Трактори випускаються промислового призначення, сільськогосподарського призначення, подвійного призначення. Промислові трактори мають кращі тягові спроможності, підвищену прохідність. Якщо порівняти гусеничні машини, то у сільськогосподарських тракторів гусениці мають дрібні ґрунтозачеми, промислові трактори мають суцільні стрічкові пластинчаті гусениці з паралельними ребрами, паралельні ребра сприяють тяговій спроможності.

Тягова спроможність залежить від маси машини та сили тяги за зчепленням. Якщо маса машини повністю реалізує силу тяги за зчепленням, тобто гусениця починає пробуксовувати під силою, яка співставна з масою машини, то тоді машина повністю реалізує свою масу. Тягове зусилля рахується в ньютонах, тобто $m \cdot g$, а маса машини в кілограмах або в тонах. Тобто, таким чином, маса машини впливає на тягову спроможність. У наступних розділах ми визначимо, яку машину краще застосовувати і яка машина має оптимальну тягову спроможність подолання опору ґрунту. В цьому розділі ми розглянемо машини вітчизняного та зарубіжного виробництва, визначимо класифікацію машин в залежності від потужності і сили тяги, оберемо машини різних класів для подальшого розрахунку.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1. Огляд тракторів українського виробництва

В Україні рівень локалізації та складності виробництва тракторів змінюється – від встановлення начіпного обладнання, до комплексного виготовлення з використанням як вітчизняних, так і імпортованих деталей. Незважаючи на різні масштаби, всі ці підприємства можна вважати вітчизняними виробниками тракторів. На рисунках 1.1 – 1.15 представлені машини українського виробництва.

Трактори ХТЗ відрізняються різноманітністю виконувальних робіт. В цій групі приведено машини на колісній базі, вони призначені для сільського та комунального господарства. Для будівельної сфери пропонується машини на гусеничній базі. На базі цих тракторів завод випускає дорожньо-будівельні бульдозери та спецтехніку.

Для групи тракторів Південмашу характерно те, що машини мають легкий тяговий клас. Призначення даних машин - це виконання робіт сільського та комунального господарства.

Група машин ХТА «Слобожанець» принципово відрізняється однотипністю конструкції. «Слобожанець» - це серія тракторів ХТА, яка спроектована на платформі ХТЗ Т-150К. Зміни торкнулися базових вузлів - рами, ведучих мостів, коробки передач, кабіни. На базі тракторів «Слобожанець» виробляється ряд спеціальних машин, призначених для роботи в різних галузях господарства.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ХТЗ (Харківський тракторний завод)



Рис. 1.1. Трактор ХТЗ-3512 (780 кгс)



Рис. 1.2. Трактор ХТЗ-150К-09-25
(3 тс)



Рис. 1.3. Трактор ХТЗ-170К (4 тс)



Рис. 1.4. Трактор ХТЗ-150 (5 тс)



Рис. 1.5. Трактор ХТЗ-242К (4 тс)



Рис. 1.6. Трактор ХТЗ-181.22 (6 тс)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПТ.630000.303.МРПЗ

Арк.

9

ПІВДЕНМАШ (Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод ім.
О. М. Макарова)



Рис. 1.7. Трактор ЮМЗ-6 (1,4 тс)



Рис. 1.8. Трактор ЮМЗ-8040 (1,4 тс)



Рис. 1.9. Трактор ЮМЗ-8244 (1,4 тс)



Рис. 1.10. Трактор ЮМЗ-10264Н
(1,4 тс)

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

ХТА «Слобожанець» (Слобожанська промислова компанія)



Рис. Трактор 1.11. ХТА-200-10 (6 тс)



Рис. 1.12. Трактор ХТА-200-02М (6 тс)



Рис. 1.13. Трактор ХТА-220-2 (6 тс)



Рис. 1.14. Трактор ХТА-250 (6тс)



Рис. 1.15. Трактор ХТА-300 (7 тс)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПТ.630000.303.МРПЗ

Арк.

11

1.2. Огляд бульдозерів українського та зарубіжного виробництва

Гусеничні бульдозери ТС-5 та ТС-10 (рис. 1.16, рис. 1.17) розробки українського підприємства ХТЗ, машини відносяться до 5 тягового класу.

Бульдозер TDC B6 українського виробництва TDC відноситься до середнього класу.

Бульдозери Caterpillar D3K2 та D8R (рис. 1.18, рис. 1.20) розробки американської компанії Caterpillar, машини відносяться до середнього, та важкого тягового класу відповідно.

Бульдозер Komatsu D475A розробка японської транснаціональної корпорації, машина відноситься до надтяжкого класу.



Рис. 1.16. Бульдозер ХТЗ ТС-5 (5 тс)



Рис. 1.17. Бульдозер ХТЗ ТС-10 (5 тс)



Рис. 1.18. Бульдозер Caterpillar D3K2
(18 тс)



Рис. 1.19. Бульдозер TDC B6 з навісним
розпушувальним обладнанням
(238 кВт)

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12



Рис. 1.20. Бульдозер Caterpillar D8R з навісним розпушувальним обладнанням



Рис. 1.21. Бульдозер Komatsu D475A з навісним розпушувальним обладнанням

1.3. Визначення оптимальних тягово-швидкісних характеристик і класу бульдозерів

Тяговий клас визначає можливості застосування бульдозерів для виконання задач різного рівня складності:

Клас 0,9 тс (тягове зусилля вимірюється в тонна-силах або в кілоньютонах кН: 1 тс = 10 кН). До цього діапазону входять компактні та малогабаритні моделі, які варто обирати для будівництва та процесів із переміщенням сипких матеріалів.

Клас 1,4 - 6 тс. Це легкі моделі, які застосовують для виконання робіт в сільському господарстві. Такі бульдозери працюють із складними ґрунтами (рівень щільності 1-2).

Клас 6 - 25 тс. До цього класу входять найбільш затребувані моделі, які придатні для виконання складних задач і роботи з ґрунтом з рівнем щільності до 4.

Спеціалізовані важкі (тяговий клас складає 25 - 35 тс) використовуються в промисловості та дорожньому будівництві.

Надважкі бульдозерні машини (понад 35 тс) використовуються в важкій промисловості, крупному дорожньому будівництві, для роботи в кар'єрах тощо.

Дані систематизації параметрів наведені в таблиці 1.1.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Тип бульдозера	Тягове зусилля, кН	Потужність, кВт	Клас, тс
Легкий	14 - 60	37 - 103	1,4 - 6
Середній	60 - 250	103 - 220	6 - 25
Важкий	250 - 350	220 - 405	25 - 35
Надважкий	Більше 350	Більше 405	Більше 35

За допомогою наведеного рисунку 1.22 можна визначити тяговий клас бульдозера Caterpillar D8R.

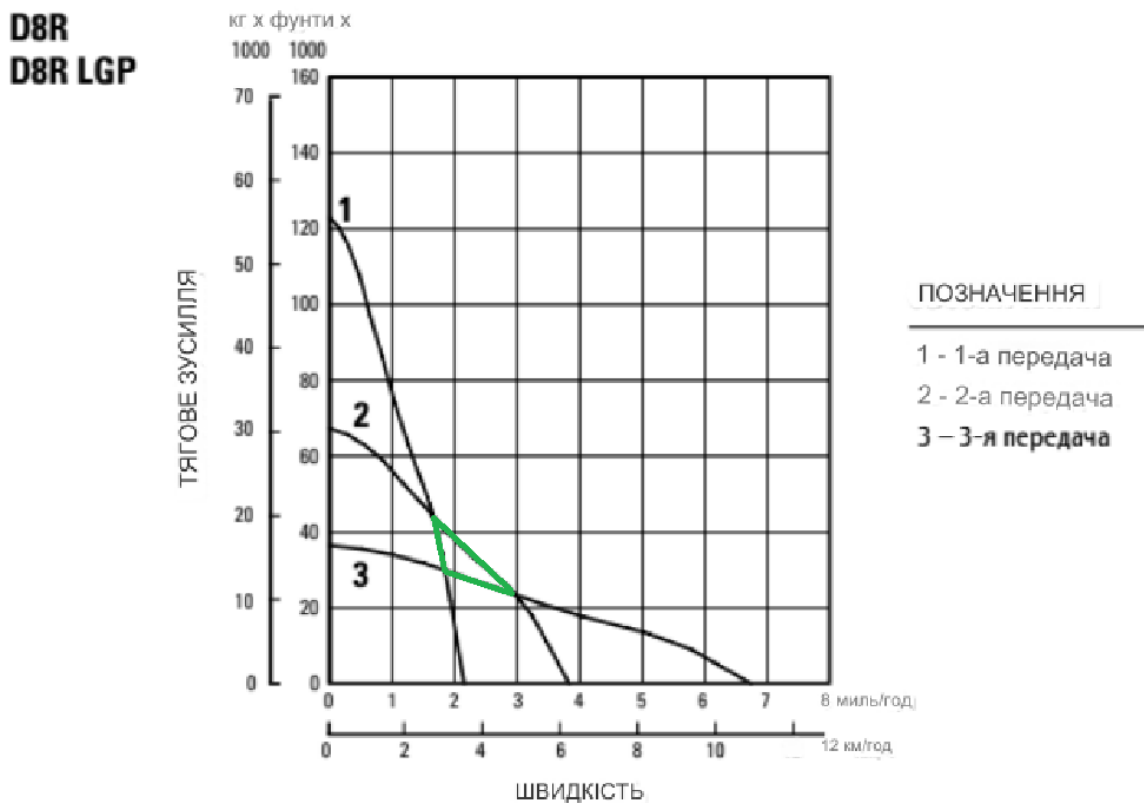


Рис. 1.22 Тягово-швидкісна характеристика бульдозера Caterpillar D8R

Точки перетину графіків залежності тягового зусилля і швидкості між 1-ою, 2-ою та 3-ою передачею (рис. 1.22) утворюють діапазон раціональних значень.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Спроекуємо точки мінімальних і максимальних значень діапазону раціональних значень, і отримаємо раціональний діапазон потужності і швидкості бульдозера Caterpillar D8R. Тобто, робоча швидкість даного бульдозера вважається від 1.7 км/год до 3 км/год в залежності з тяговим зусиллям від 25 до 43 тс (245 - 422 кН). Звідси можна зробити висновок, що в залежності від умов використання бульдозер Caterpillar D8R має важкий клас.

1.4. Попередні розробки та аналоги бульдозерного відвала-ущільнювача

Бульдозерне обладнання має неповоротний відвал і ріжучі ножі (рис. 1.23). Ріжучі ножі 2 виконані з окремих пластин, з'єднані між собою попарно, встановлюються на відвал 1. Ріжучі краї 3 розташовані симетрично відносно подовжньої вертикальної площини симетрії відвала під заданим кутом між собою у фронтальній і вертикальній проекції. Пластини ножів встановлені під гострим кутом до горизонталі таким чином, щоб забезпечити виключно косе копання ґрунту. Основним недоліком даного бульдозерного обладнання є неможливість ущільнення ґрунту.

Найближчим аналогом до технічної пропозиції, є бульдозерне обладнання (рис. 1.24), що містить штовхаючі бруси 1, основний відвал 2 з основним ножем 3 і передню щелепу 4 з механізмом її керування. До нижньої частини передньої щелепи 4 прикріплений ущільнювальний модуль, профіль робочої поверхні якого виконаний з трикутних пластин 5, 6, з'єднаних між собою під заданими кутами, а його тильна частина має суцільний ріжучий край, при цьому до передньої щелепи 4 з передньої сторони прикріплений лобовий відвальний лист 7 з бічними косинками 8, з тильної сторони прикріплена дугоподібна рифлена поверхня 9, а у верхній частині передньої щелепи 4 є кронштейни 10 для її приєднання шарнірами 11 і 12 відповідно до вушок 13 у верхній частині основного відвала 2 і до штоків гідроциліндрів 14, корпуси яких шарнірами 15 прикріплені до вушок 16 в нижній частині основного відвала 2. Основними недоліком даного бульдозерного обладнання є неможливість косоного копання ґрунту щелепним відвалом.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

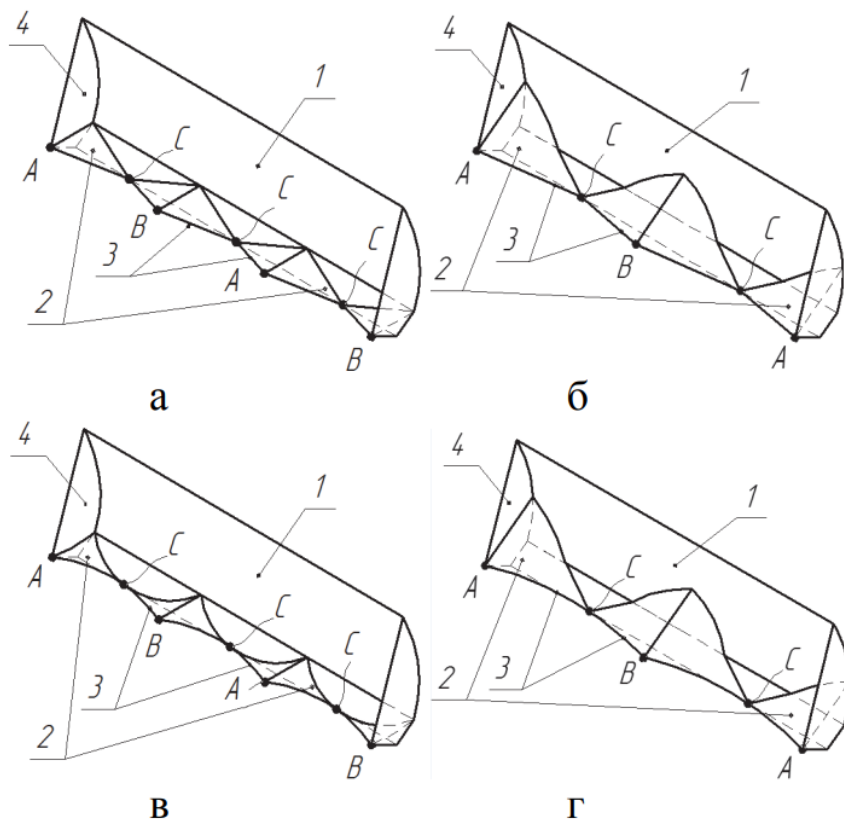


Рис. 1.23. Варіанти моделей відвалів бульдозерів з комбінованою ножовою системою: а, в - із трьома парами ножів; б, г — з двома парами ножів; 1 – відвал; 2 – ріжучі ножі; 3 – ріжучі краї; 4 – бічні косинки; А, В, С — характерні точки периметра ріжучих країв ножів

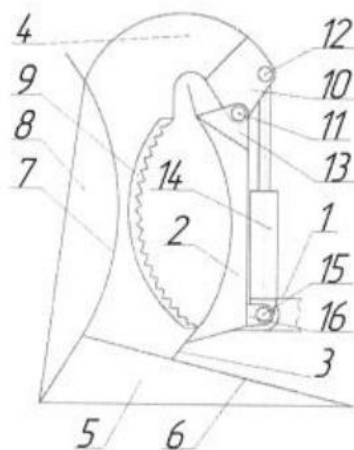


Рис. 1.24. Щелепний відвал-ущільнювач: 1 - штовхаючий брус; 2 - основний відвал; 3 - основний ніж; 4 - передня щелепа; 5, 6 - трикутні пластини ущільнювального модуля; 7 - лобовий відвальний лист; 8 - бічні косинки; 9 - дугоподібна рифлена поверхня; 10 - кронштейн передньої щелепи; 11, 12, 15 - шарніри; 13, 16 - кріплення шарніра; 14 - шток гідроциліндра

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

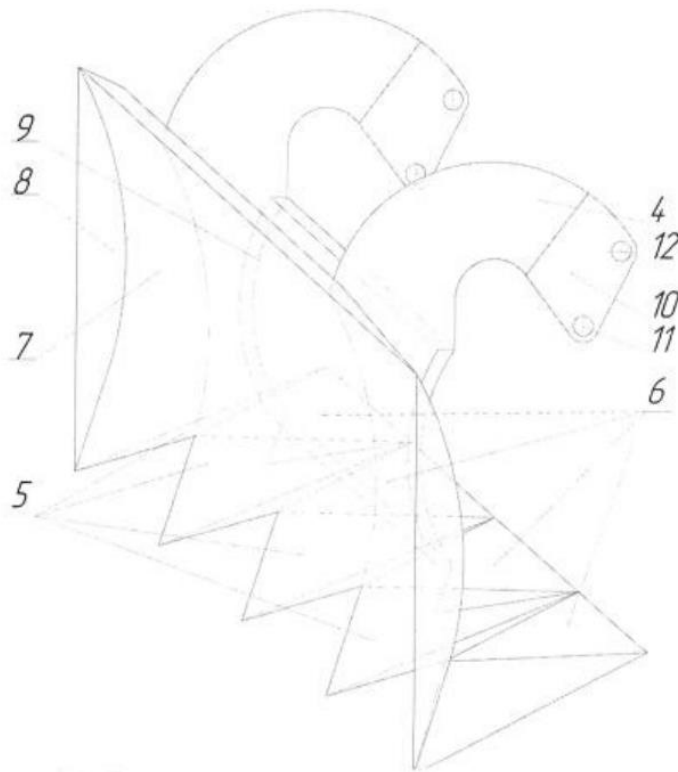


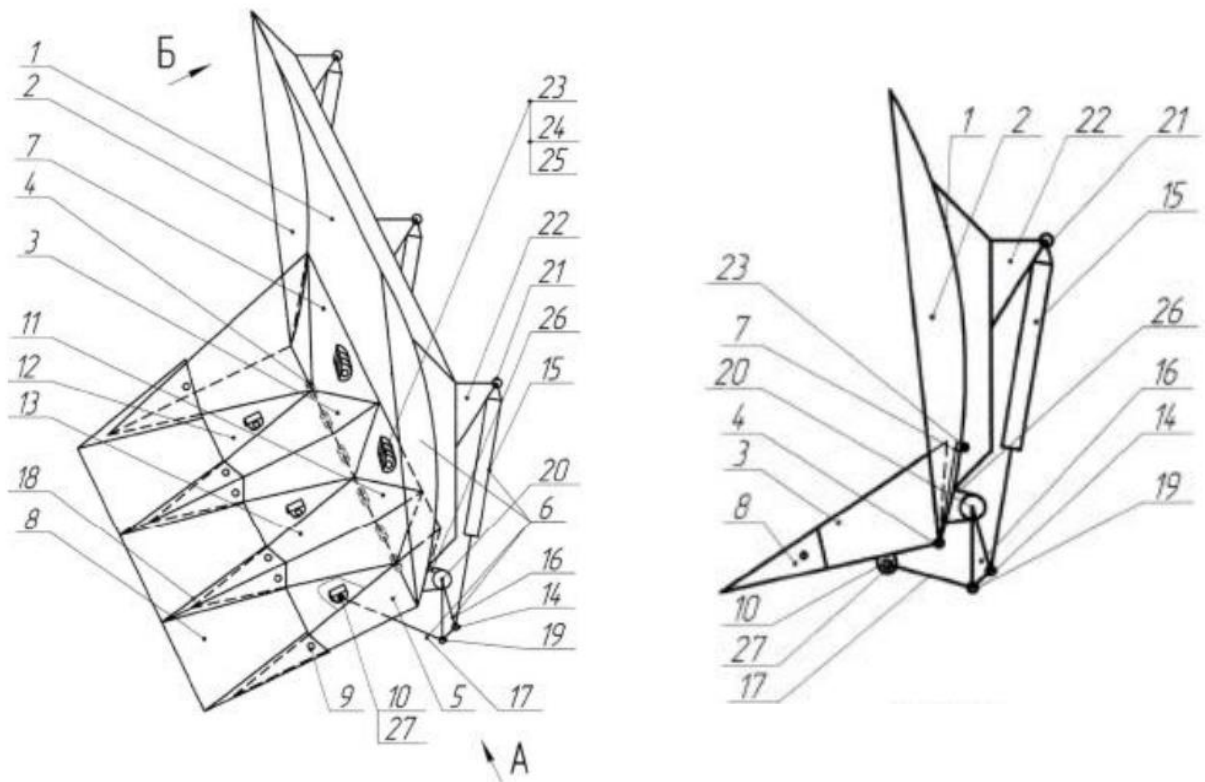
Рис. 1.25. Передня щелепа бульдозерного обладнання в зборі

1.5. Технічна пропозиція бульдозерного відвала-ущільнювача

Технічна пропозиція бульдозерного відвала-ущільнювача має в своєму складі бульдозерний відвал 1, оснащений бічними косинками 2 та ножовою системою 3. Ножова система 3 шарнірно 4 встановлена в нижній частині відвала, має бічні пластини 5, механізм повороту 6, рухому пластину 7, знімну насадку 8, її кріплення 9 та кронштейни 10 ножової системи 3. Ріжучі ножі ножової системи 3 виконані з попарно з'єднаних пластин 11 під заданим кутом, які додатково з'єднані між собою косинками 12 та нижніми пластинами 13. Механізм повороту 6 ножової системи 3 включає з'єднані між собою шарнірами (14, 19, 20, 21 та 27) гідроциліндри 15, двоплечі важелі 16, тяги 17 та кронштейни традиційного бульдозерного відвала 22 і 26. Знімна насадка 8 має в своєму складі основну пластину, до якої попарно приєднані додаткові пластини 18 під заданим кутом, що дорівнює куту з'єднання пластин 11 ріжучих ножів. До кронштейнів 10, встановлених на нижніх площинах 5 косинок 12 ножової системи 3 шарнірами 27 приєднані тяги 17, двоплечі важелі 16 шарнірами 20 приєднані до кронштейнів 26,

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлених в тильній нижній частині традиційного бульдозерного відвала 1. Корпуси гідроциліндрів 15 шарнірами 21 приєднані до кронштейнів 22, встановлених у тильній верхній частині традиційного бульдозерного відвала 1. Рухома пластина 7 має проушини 23, якими через прорізи фіксується до вушок 24, встановлених в тильній 10 нижній частині традиційного бульдозерного відвала 1 фіксаторами 25.



1 - відвал; 2 - бічні косинки; 3 - ножова система; 4, 14, 19, 20, 21, 27 - шарніри; 5 - бічні пластини; 6 - механізм повороту; 7 - рухома пластина; 8 - знімна насадка; 9 - кріплення змінної насадки; 10 - кронштейни ножевої системи; 11 - попарно з'єднані пластини; 12 - косинки; 13 - нижні пластини; 15 - гідроциліндри; 16 - двоплечні важелі; 18 - додаткові пластини; 17 - тяги; 22, 26 - кронштейни відвала;

Рис. 1.26. Бульдозерний відвал-ущільнювач

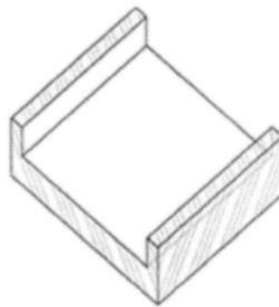


Рис. 1.27. Гладенький профіль ґрунту, утворений відвалом з насадкою

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Бульдозерне обладнання може працювати у режимі косоного копання без використання знімної насадки 8. Знімна насадка 8 необхідна для його роботи у режимі традиційного копання або часткового ущільнення ґрунту. Її можна також розглядати як засіб для зачищення поверхні ґрунту. При необхідності копання ґрунту ножовою системою 3 з косим копанням ґрунту без знімної насадки 8 встановлюємо ножову систему 3 у переднє положення, а рухому пластину 7-у верхнє положення (рис. 1.28).

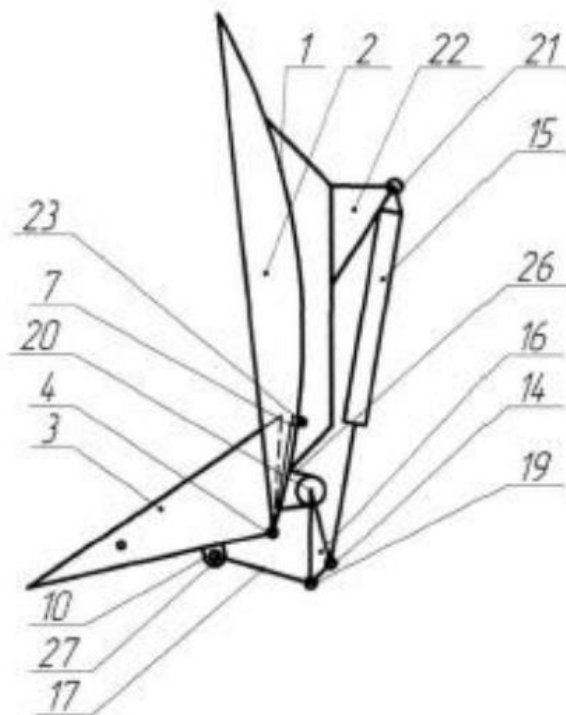


Рис. 1.28. Бульдозерний відвал-ущільнювач без насадки.

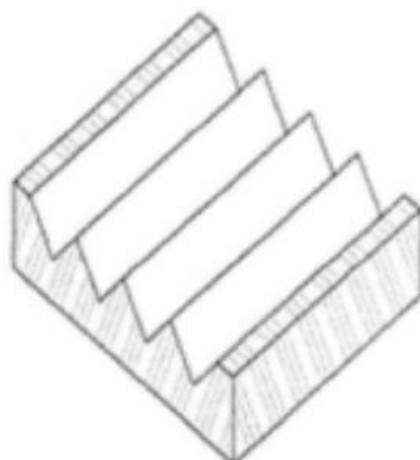


Рис. 1.29. рифлений профіль ґрунту, утворений бульдозерним обладнанням

При необхідності традиційного копання або ущільнення ґрунту ножовою системою 3 зі знімною насадкою 8, за допомогою фіксаторів кріплення 9 приєднуємо до бічних пластин 5 та попарно встановлених пластин 11 ножової системи 3 знімну насадку 8 згідно з рис. 1.26, 1.28, 1.30, 1.31.

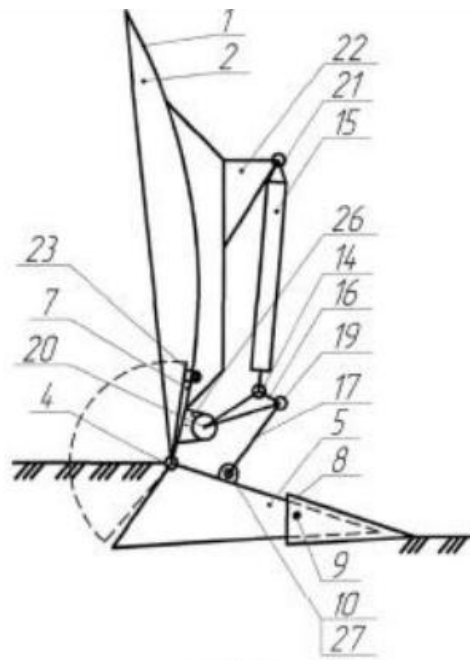


Рис. 1.30. Бульдозерне обладнання з положенням ножової системи з встановленою знімною насадкою для часткового ущільнення ґрунту

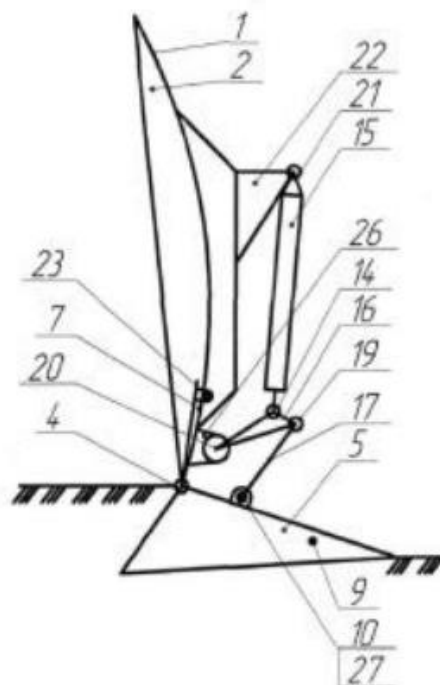


Рис. 1.31. Бульдозерне обладнання з розміщенням ножової системи в положенні ущільнення ґрунту при розміщенні рухомої пластини у верхньому положенні

					ДІТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

При необхідності ущільнення ґрунту рухома пластина 7 фіксуємо у верхньому положенні вушками 23 до вушок 24 традиційного бульдозерного відвала 1 фіксаторами 25, а механізмом 6 повороту ножової системи 3 змінюємо положення ножової системи 3 (згідно з рис. 1.30); при цьому зазор між рухомою пластиною 7 та традиційним бульдозерним відвалом 1 не існує. Таке положення виконано лише для наочності зображень. Рухома пластина 7 може бути у верхньому положенні згідно з рис. 1.26, 1.28, 1.30, 1.31 або у нижньому положенні згідно рис. 1.30 її кріплення до відвала відбувається за допомогою вушок 24 на відвалі та 23 на пластині. При частковому ущільненні ґрунту рис. 1.30 та 1.31 рухома пластина 7 знаходиться у верхньому положенні, а при традиційному копанні ґрунту (рис. 1.30) - у нижньому. При необхідності копання з утворенням суцільної гладенької поверхні ґрунту, встановлюємо ножову систему 3, згідно з рис. 1.26, 1.28, 1.30 або 1.31, а при необхідності копання ґрунту з його утворенням профільної поверхні, встановлюємо ножову систему 3 згідно з рис. 1.28.

Таким чином винахід забезпечить розширення технологічних можливостей бульдозерного обладнання за рахунок запропонованої ножової системи, механізму її керування, насадки та рухомої пластини.

1.6. Висновки за розділом

В цьому розділі ми розглянули машини вітчизняного (ХТЗ, ПВДЕНМАШ, ХТА, ТДС) та зарубіжного виробництва (Caterpillar, Komatsu). Було класифіковано машини в залежності від потужності і сили тяги. На основі легкого, середнього, важкого, та надважкого класу було обрано машини для подальшого розрахунку і порівняння відмінних результатів. Розглянуто попередні розробки відвала, аналогічні розробки з ідеєю ущільнення ґрунту, та саму пропозицію відвала ущільнювача.

У наступних розділах ми визначимо: характеристики машин з модернізованим обладнанням, оптимальні тягові спроможності подолання опору ґрунту машин, визначимо на основі питомих показників роботи бульдозерів економічну ефективність.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. СИЛОВИЙ РОЗРАХУНОК БУЛЬДОЗЕРА-УЩІЛЬНЮВАЧА

2.1. Тяговий розрахунок бульдозера-ущільнювача

Для здійснення розрахунку можливості руху бульдозерів після модернізації ножової системи було обрано машини з різних тягових класів:

- бульдозер легкого класу ХТЗ ТС-5;
- бульдозер середнього класу ХТЗ ТС-10;
- бульдозер середнього класу Caterpillar D3K2;
- бульдозер важкого класу Caterpillar D8R;
- бульдозер надважкого класу Komatsu D475A.

Потрібні для розрахунку вихідні дані та характеристики бульдозерів:

- 1) маса бульдозера без начіпного обладнання, m_T , кг;
- 2) маса начіпного бульдозерного обладнання, m_B , кг;
- 3) потужність двигуна N_1 , кВт;
- 4) момент на валу двигуна бульдозера, M_1 , Нм;
- 5) кутова швидкість обертання вала двигуна трактора, ω_1 , с⁻¹;
- 6) загальне передаточне число трансмісії бульдозера, u_{TP} ;
- 7) питомий коефіцієнт опору ґрунту копанню, $K_{ПНТ}$, МПа;
- 8) ширина ножа, b , м; / висота відвала, H , м;
- 9) межа міцності ґрунту на зминання, $[\sigma_{3M}]$, МПа;
- 10) об'ємна щільність ґрунту, γ_{GP} , кг/м³;
- 11) товщина стружки, $h_{СТР}$, м; / кут різання, δ , град;
- 12) Кут подовжнього нахилу бульдозера до горизонталі, α , град;
- 13) Довжина площадки затуплення ножа, a , м;
- 14) Габаритна висота бульдозера, H_M , м;
- 15) Ширина колії бульдозера, B , м;
- 16) Питомий тиск вітру, p_B , Па;
- 17) Радіус приводної зірочки гусеничного ходу, R_2 , м;

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

18) Оптимальная робоча швидкість, v , м/с.

Для зручності користування вихідними даними вони зведені в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1

Вихідні дані та характеристики бульдозерів

Найменування та розмірність параметрів		ХТЗ ТС-5	ХТЗ ТС-10	Caterpillar D3K2	Caterpillar D8R	Komatsu D475A
1		2	3	4	5	6
1	m_T , кг	8800	16000	7213	26500	100500
2	m_B , кг	500	900	500	1500	2000
3	N_1 , кВт	132	132	55	342	641
4	M_1 , Нм	667	667	558	1350	3060
5	ω_1 , с ⁻¹	20	20	23	35	33
6	u_{TP}	12	16	16	30	42
7	$K_{ПИТ}$, МПа	0,3				
8	b , м / H , м	3,24/1,2	3,7/1,345	2,65/0,91	3,9/1,69	5,27/2,69
9	$[\sigma_{3M}]$, МПа	0,27				
10	$\gamma_{ГР}$, кг/м ³	1700				
11	$h_{СТР}$, м; / δ , град.	0,2/55				
12	α , град.	0				
13	a , м	0,05				
14	H_M , м	2,5	3,15	2,763	3,450	4,59
15	B , м	1,435	1,88	1,495	2,083	2,77
16	p_B , Па	200				
17	R_2 , м	0,33	0,42	0,37	0,45	0,68
18	v , м/с	0.556				

На прикладі ТС - 5 продемонструємо порядок розрахунку визначення можливості руху та діючі зусилля начіпного обладнання бульдозерів. За результатами розрахунку буде надано рекомендації щодо умови руху бульдозерів.

Можливість руху бульдозера формулюється так: динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням $T_{зчД}$ повинна бути не меншою за силу тяги бульдозера за двигуном T_{N_2} , яка в свою чергу повинна бути не меншою за сумарний опір руху машини $\sum_{i=1}^n W_i$ у навантаженому робочому стані. Умова руху описується нерівністю:

$$T_{зчД} \geq T_{N_2} \geq \sum_{i=1}^n W_i . \quad (2.1)$$

2.2. Визначення динамічної сили тяги бульдозера за зчепленням

Динамічна сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зчД} = T_{зч} K_{дин} ; \quad (2.2)$$

$$T_{зчД} = 8.208 \cdot 10^4 \cdot 2.5 = 2.052 \cdot 10^5 , \text{ Н},$$

де $T_{зч}$ - статична сила тяги бульдозера за зчепленням, Н; $K_{дин}$ - коефіцієнт динамічності процесу копання (рекомендується в межах 2...4).

Статична сила тяги бульдозера за зчепленням:

$$T_{зч} = G_{зч} \varphi_{зч} ; \quad (2.3)$$

$$T_{зч} = 9.12 \cdot 10^4 \cdot 0.9 = 8.208 \cdot 10^4 , \text{ Н},$$

де $G_{зч}$ - зчіпна вага бульдозера, що припадає на опорно-ходове обладнання, Н; $\varphi_{зч}$ - коефіцієнт зчеплення опорно-ходового обладнання бульдозера з ґрунтом, $\varphi_{зч} = 0,9$.

Оскільки бульдозер ТС - 5 має гусеничне ходове обладнання, то зчіпною буде вся вага машини, що перпендикулярно направлена з центру тяжіння машини до її опорної поверхні:

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$G_{3ч} = G_B \cos \alpha, \text{ Н}; \quad (2.4)$$

$$G_{3ч} = (8300 + 500) \cdot 9,81 \cdot \cos 55^\circ = 9,12 \cdot 10^4, \text{ Н},$$

де G_B - сумарна вага бульдозера, Н; α - кут подовжнього нахилу бульдозера до горизонталі, град.

2.3. Визначення сили тяги бульдозера за двигуном

Сила тяги бульдозера за двигуном:

$$T_{N_2} = N_2 / v; \quad (2.5)$$

$$T_{N_2} = 1,056 \cdot 10^5 / 0,556 = 1,899 \cdot 10^5 \text{ Н},$$

де N_2 - потужність на привідній зірочці гусеничного ходу, Вт; v - швидкість руху бульдозера, м/с.

Потужність на привідній зірочці гусеничного ходу:

$$N_2 = N_1 \eta_{MEX}; \quad (2.6)$$

$$N_2 = 11,3 \cdot 10^4 \cdot 0,8 = 10,56 \cdot 10^4 \text{ Вт},$$

де N_1 - потужність двигуна трактора, Вт; η_{MEX} - ККД трансмісії бульдозера.

Сумарний опір руху машини у навантаженому робочому стані:

$$\sum_{i=1}^n W_i = W_{BO} + W_T, \text{ Н}; \quad (2.7)$$

$$\sum_{i=1}^2 W_i = 3,541 \cdot 10^5 + 2,786 \cdot 10^4 = 3,82 \cdot 10^5 \text{ Н},$$

де W_{BO} - опір руху машини від бульдозерного обладнання при його роботі, Н; W_T - опір руху трактора, Н.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4. Визначення опору руху машини від бульдозерного обладнання при його роботі

Опір руху машини від бульдозерного обладнання при його роботі:

$$W_{BO} = W_{01} + W_{02} + W_{ТПР} + W_{ТГВ} + W_{ТНГ} + W_{ЗАТ}, \text{ Н}; \quad (2.8)$$

$$W_{BO} = 1.944 \cdot 10^5 + -3.888 \cdot 10^4 + 3.889 \cdot 10^5 + 2.266 \cdot 10^4 + 1.555 \cdot 10^4 + \\ + 4.374 \cdot 10^4 = 3.541 \cdot 10^5 \text{ Н},$$

де W_{01} і W_{02} - дотична і нормальна складові опору відділення ґрунту від масиву, Н;
 $W_{ТПР}$, $W_{ТГВ}$, $W_{ТНГ}$ - відповідно, опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту, ґрунту по відвалу і ножової системи по ґрунту; $W_{ЗАТ}$ - опір від площадки затуплення в зоні ріжучого краю ножа, Н.

Дотична складова опору відділення ґрунту від масиву

$$W_{01} = K_{ПНТ} A_{СТР}, \text{ Н}; \quad (2.9)$$

$$W_{01} = 0,3 \cdot 10^6 \cdot 0,648 = 1.944 \cdot 10^5 \text{ Н},$$

де $K_{ПНТ}$ - питомий коефіцієнт опору ґрунту різанню, Па; $A_{СТР}$ - площа поперечного перерізу вирізаної стружки, м².

Площа поперечного перерізу вирізаної стружки визначається в залежності від схеми ножової системи, її розташування у ґрунті та з врахуванням глибини копання. Для традиційної ножової системи з прямокутним зіставним ножом всю площу поперечного перерізу вирізаної стружки можна представити у вигляді прямокутника. Користуючись умовними позначеннями на схемі, що додається, визначимо площу поперечного перерізу стружки ґрунту:

$$A_{СТР} = bh_{СТР}; \quad (2.10)$$

$$A_{СТР} = 3,24 \cdot 0,2 = 0,648 \text{ м}^2.$$

Нормальна складова опору відділення ґрунту від масиву може бути знайдена одним із способів:

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$W_{02} = 0,2 \cdot W_{01}, \text{ Н}; \quad (2.11)$$

$$W_{02} = 0,2 \cdot 1.944 \cdot 10^5 = 1.944 \cdot 10^5 \text{ Н},$$

де $[\sigma_{3M}]$ - межа міцності ґрунту на зминання, Па (див. завдання); A_{3M} - площа проєкції лобової поверхні ножа на горизонтальну площину, м².

Опір від тертя ґрунтової призми по ґрунту:

$$W_{ТПР} = \mu_1 G_{Г} \cos \alpha, \text{ Н}; \quad (2.12)$$

$$W_{ТПР} = 0,9 \cdot 4.321 \cdot 10^4 \cdot \cos 0^\circ = 3.889 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

де μ_1 - коефіцієнт тертя ґрунту по ґрунту (рекомендується для піску, гравію, рослинного шару – 0,7...0,75; для сухої глини – 0,9...1,0); $G_{Г}$ - вага призми волочення ґрунту, Н; α - кут нахилу забою до горизонту, град.

Вага призми волочення ґрунту знаходиться з виразу:

$$G_{Г} = V_{ПР} \gamma_{ГР} g, \text{ Н}; \quad (2.13)$$

$$G_{Г} = 2,592 \cdot 1700 \cdot 9,81 = 4.321 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

де $\gamma_{ГР}$ - об'ємна щільність ґрунту, кг/м³ (див. завдання); g - прискорення вільного падіння, м/с²; $V_{ПР}$ - об'єм призми волочення ґрунту.

$$V_{ПР} = bH^2 / 2K, \text{ м}^3; \quad (2.14)$$

$$H / b = 1,2 / 3,24 = 0,37; V_{ПР} = 3,24 \cdot 1,2^2 / 2 \cdot 0,9 = 2,592 \text{ м}^3;$$

де b і H - відповідно, ширина ножа і висота відвала, м; K - коефіцієнт, що залежить від співвідношення H / b .

Опір від тертя ґрунту по відвалу:

$$W_{ТГВ} = \mu_{ГМ} (G_{ГН} + F_{ТН}), \text{ Н}; \quad (2.15)$$

$$W_{ТГВ} = 0,4(2.479 \cdot 10^4 + 3.186 \cdot 10^4) = 2.266 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежність коефіцієнту K від співвідношення H/b

H/b	K	
	Для незв'язних ґрунтів	Для зв'язних ґрунтів
0,15	1,10	0,70
0,30	1,15	0,80
0,35	1,20	0,85
0,40	1,30	0,90
0,50	1,50	0,95
0,55	1,55	1
0,60	1,60	1,05
0,65	1,65	1,1

де $\mu_{ГМ}$ - коефіцієнт тертя ґрунту по сталі (рекомендується для піску, гравію, рослинного шару – 0,4...0,5; для сухої глини – 0,3...0,4); $G_{ГН}$ - нормальна до площини передньої грані ножа складова сили тяжіння призми волочення ґрунту, Н; $F_{ТН}$ - нормальна до площини передньої грані ножа складова опору сили тертя призми волочення по поверхні ґрунту, Н.

$$G_{ГН} = G_{Г} \cos(\alpha_{Н} - \alpha), \text{ Н}; \quad (2.16)$$

$$G_{ГН} = 4.321 \cdot 10^4 \cdot \cos(55^\circ - 0^\circ) = 2.479 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$F_{ТН} = W_{ТНГ} \sin \delta, \text{ Н}; \quad (2.17)$$

$$F_{ТН} = 3.889 \cdot 10^4 \sin 55^\circ = 3.186 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Опір від тертя ножової системи по ґрунту:

$$W_{ТНГ} = \mu_{ГМ} W_{02}, \text{ Н}; \quad (2.18)$$

$$W_{ТНГ} = 0,4 \cdot 3.888 \cdot 10^4 = 1.555 \cdot 10^4 \text{ Н}.$$

Опір від площадки затуплення в зоні ріжучого краю ножа:

$$W_{ЗАТ} = [\sigma_{ЗМ}] A_{ЗАТ} = [\sigma_{ЗМ}] ba, \text{ Н}; \quad (2.19)$$

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{зат} = 0,27 \cdot 10^6 \cdot 3,24 \cdot 0,05 = 4.374 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

де $A_{зат}$ - площа площадки затуплення ножа, м²; a - довжина площадки затуплення ножа, м (див. завдання).

Опір руху трактора:

$$W_T = W_{коч} + W_B, \text{ Н}; \quad (2.20)$$

$$W_T = 2.736 \cdot 10^4 + 502.25 = 2.786 \cdot 10^4 \text{ Н},$$

де $W_{коч}$ - опори коченню ходового обладнання трактора, W_B - опори коченню від вітрового навантаження, Н.

$$W_{коч} = G_M (f \pm i), \text{ Н}; \quad (2.21)$$

$$W_{коч} = 9.12 \cdot 10^4 (0,3 + 0) = 2.736 \cdot 10^4 \text{ Н};$$

$$W_B = 0.7 \cdot p_B \cdot H_M \cdot B; \quad (2.22)$$

$$W_B = 0.7 \cdot 200 \cdot 2.5 \cdot 1.435 = 502.25 \text{ Н},$$

де f - коефіцієнт опору коченню (рекомендований в межах 0,1...0,3); i - ухил місцевості, виражений в долях і залежний від кута α ; p_B - питомий тиск вітру, Па; A_B - вітрова площа бульдозера, м², H_M , B_M , B - відповідно висота, ширина і ширина колії машини.

$$T_{зчд} \geq T_{N_2} \leq \sum_{i=1}^n W_i, \quad (2.1)$$

$$205.2 \text{ кН} \geq 189.9 \text{ кН} \leq 382 \text{ кН}.$$

Нерівність умови руху незадовільні. Сила тяги бульдозера за двигуном, не перевищує значення динамічної сили тяги бульдозера за зчепленням, тобто зчеплення машини буде відбуватися без пробуксовування. Але сила тяги бульдозера за двигуном менша за сумарний опір руху машини, це означає, що потужності двигуна не вистачає для заданих робочих умов. Потрібно змінити умови навантаженого робочого руху бульдозера, та повторно зробити розрахунок.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.5. Опір руху машини від бульдозерного обладнання при оптимальній роботі

Перед зміною умов робочого руху, перерахуємо відношення доданків складових опор машини у навантаженому стані до суми опор машини у навантаженому стані.

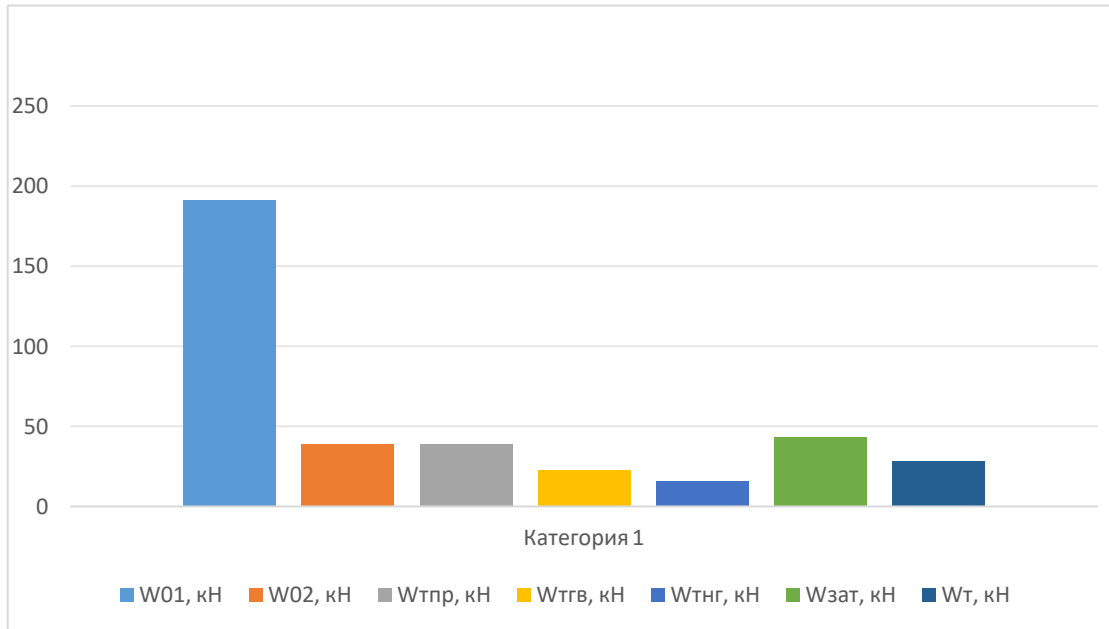


Рис. 2.1. Складові опори машини навантаженого стану бульдозера ТС – 5

З рисунка 2.1 видно, що значну частину сумарного опору навантаженого стану бульдозера складає дотична складова опору відділення ґрунту від масиву W_{01} , що дорівнює добутку питомого коефіцієнта опору ґрунту різанню $K_{шт}$, та площі поперечного перерізу вирізаної стружки $A_{СТР}$. В свою чергу, нормальна складова опору відділення W_{02} залежить від W_{01} оскільки $W_{02} = 0,2 \cdot W_{01}$.

З цього можна зробити висновок, що надані робочі умови не підходять до даного класу машини. Для визначення оптимального значення W_{01} та W_{02} потрібно зробити зворотній розрахунок, щоб значення умови були задовільними.

Умова нерівності сили тяги бульдозера за двигуном T_{N_2} , та сумарного опору руху машини $\sum_{i=1}^n W_i$

$$T_{N_2} \geq \sum_{i=1}^n W_i; \quad (2.1)$$

$$189.9 \text{кН} \geq \sum_{i=1}^n W_i.$$

Зворотній розрахунок оптимального значення W_{01} та W_{02} :

$$\begin{aligned} W_{01} + W_{02} &= \sum_{i=1}^n W_i - W_{ТПР} - W_{ТГВ} - W_{ТНГ} - W_{ЗАТ} - W_T = \\ &= 198.9 - 39 - 23 - 16 - 44 - 28 \approx 49 \text{кН}; \end{aligned} \quad (2.23)$$

$$W_{01} + 0,2W_{01} = 49 \text{ кН}; \quad (2.24)$$

$$1,2W_{01} = 49 \text{ кН};$$

$$W_{01} = \frac{49}{1,2} = 40,8 \text{ кН}.$$

$$W_{02} = 49 - W_{01} = 49 - 40,8 = 8,2 \text{ кН}.$$

В залежності від W_1 знайдемо відповідну товщину стружки $h_{СТР}$.

$$\begin{aligned} W_{01} &= K_{ПНТ} b h_{СТР} \Rightarrow \\ \Rightarrow h_{СТР} &= \frac{W_{01}}{K_{ПНТ} b} = \frac{40800}{0,3 \cdot 10^6 \cdot 3,24} = 0,042 \text{мм} \end{aligned} \quad (2.24)$$

Використання бульдозера ТС-5 не вигідно для виконання роботи з ґрунтом 3-ої категорії, тому змінимо питомий коефіцієнт опору ґрунту копанню на коефіцієнт 1-ої категорії ґрунту - пісок, $K_{ПНТ} = 0.1$ МПа; межа міцності ґрунту на зминання $[\sigma_{зм}] = 0.9 K_{ПНТ} = 0.09$ МПа. Також зменшимо робочу швидкість машини, щоб мати робочий резерв двигуна, $v = 0.52$ м/с.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Змінені параметри бульдозера ХТЗ ТС-5

Найменування та розмірність параметрів		ХТЗ ТС-5			
1	2	3	1	2	3
1	m_T , кг	8800	10	$\gamma_{ГР}$, кг/м ³	1700
2	m_B , кг	500	11	$h_{СТР}$, м; / δ , град.	0,2/55
3	N1, кВт	132	12	α , град.	0
4	M_1 , Нм	667	13	a , м	0,05
5	ω_1 , с ⁻¹	20	14	H_M , м	2,5
6	u_{TP}	12	15	B , м	1,435
7	$K_{ПИТ}$, МПа	0,3(0,1)	16	p_B , Па	200
8	b , м / H , м	3,24/1,2	17	R_2 , м	0333
9	$[\sigma_{3M}]$, МПа	0,27(0,09)	18	v , м/с	0,556(0,52)

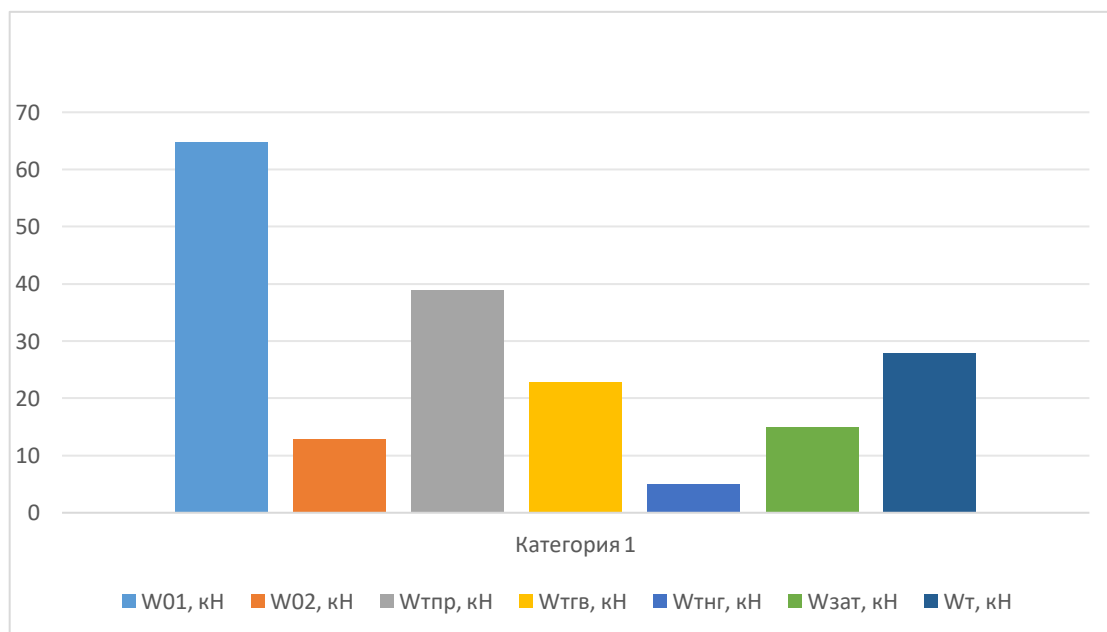


Рис. 2.2. Змінені складові опори машини навантаженого стану бульдозера ТС - 5

Після змін умов навантаженого робочого руху бульдозера, та повторного розрахунку, було отримано такий результат:

$$T_{зчд} \geq T_{N_2} \geq \sum_{i=1}^n W_i; 205.2 \text{кН} > 203.1 \text{кН} > 186.9 \text{кН}.$$

Сила тяги бульдозера за двигуном, не перевищує значення динамічної сили тяги бульдозера за зчепленням, тобто зчеплення машини буде відбуватися без пробуксовування. Сила тяги бульдозера за двигуном більша за сумарний опір рух машини, потужності двигуна вистачає для заданих робочих умов. Умова нерівності руху виконана.

Визначимо можливість руху та діючі зусилля у його начіпному обладнанні для інших бульдозерів.

Таблиця 2.4

Результати першого розрахунку тягових зусиль

	$T_{зчд}$, кН	T_{N_2} , кН	$\sum_{i=1}^n W_i$, кН
ХТЗ ТС-5	205.2	189.9 (203)	382 (175)
ХТЗ ТС-10	381.7	190	405
Caterpillar D3K2	204.2	82.7	293.2
Caterpillar D8R	617.8	430	736.1
Komatsu D475A	2262	1153	1234

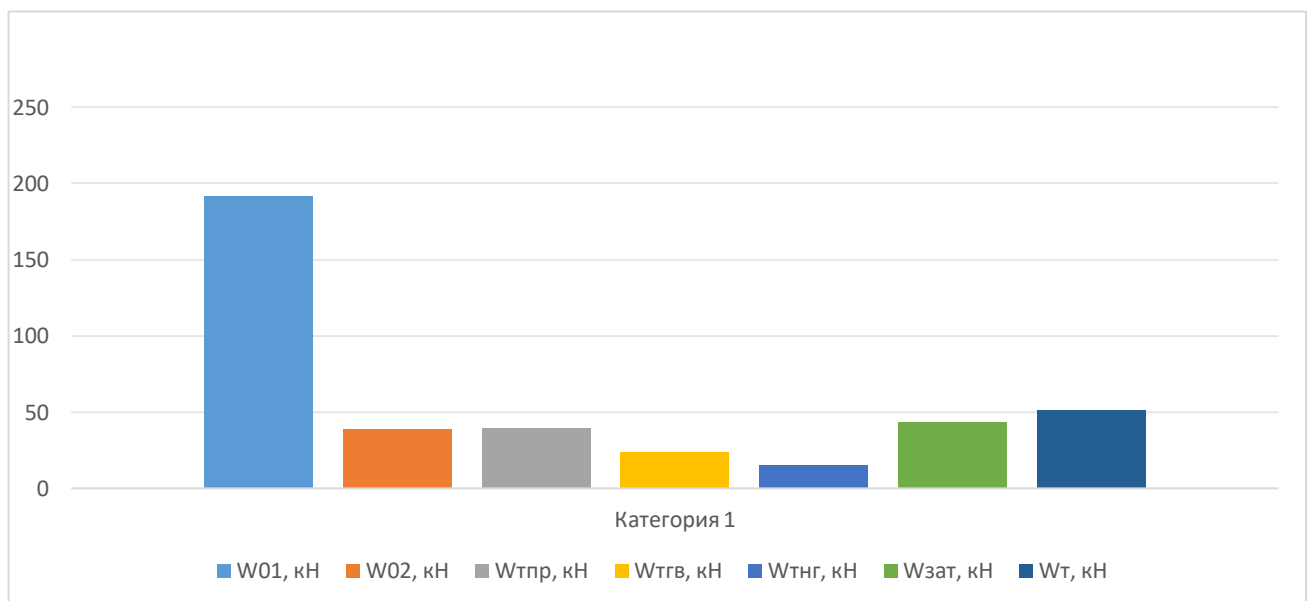


Рис. 2.3. Складові опори машини навантаженого стану бульдозера ТС - 10

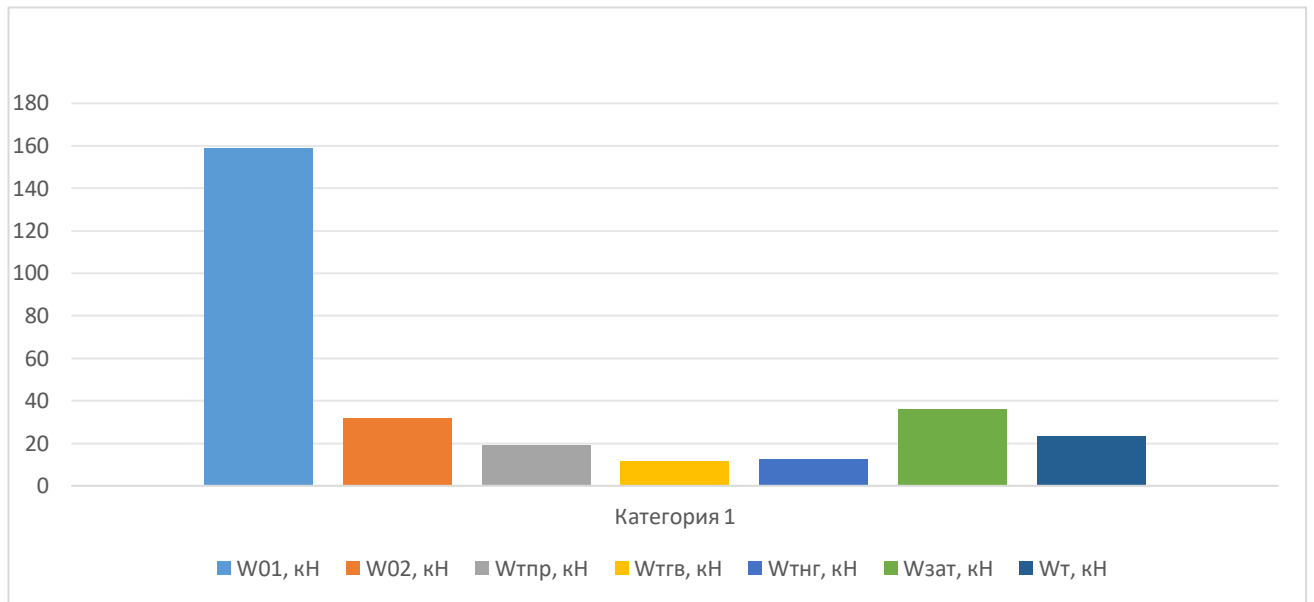


Рис. 2.4. Складові опори машини навантаженого стану бульдозера D3K2

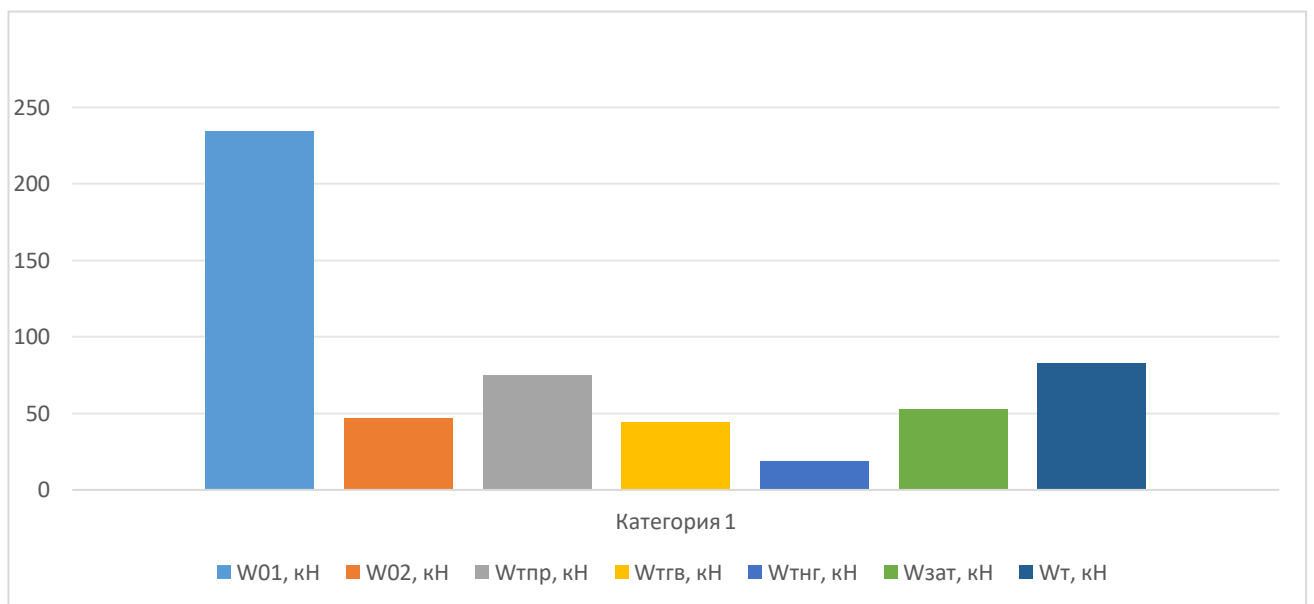


Рис. 2.5. Складові опори машини навантаженого стану бульдозера D8R

Умови нерівності робочого руху не виконані для бульдозерів: ХТЗ ТС-10, Caterpillar D3K2, Caterpillar D8R. Для цих машин перерахуємо можливу товщину стружки для 3-ої категорії ґрунту, змінимо умови робочого руху для цих бульдозерів, перерахуємо можливість руху бульдозера та діючі зусилля у його начіпному обладнанні.

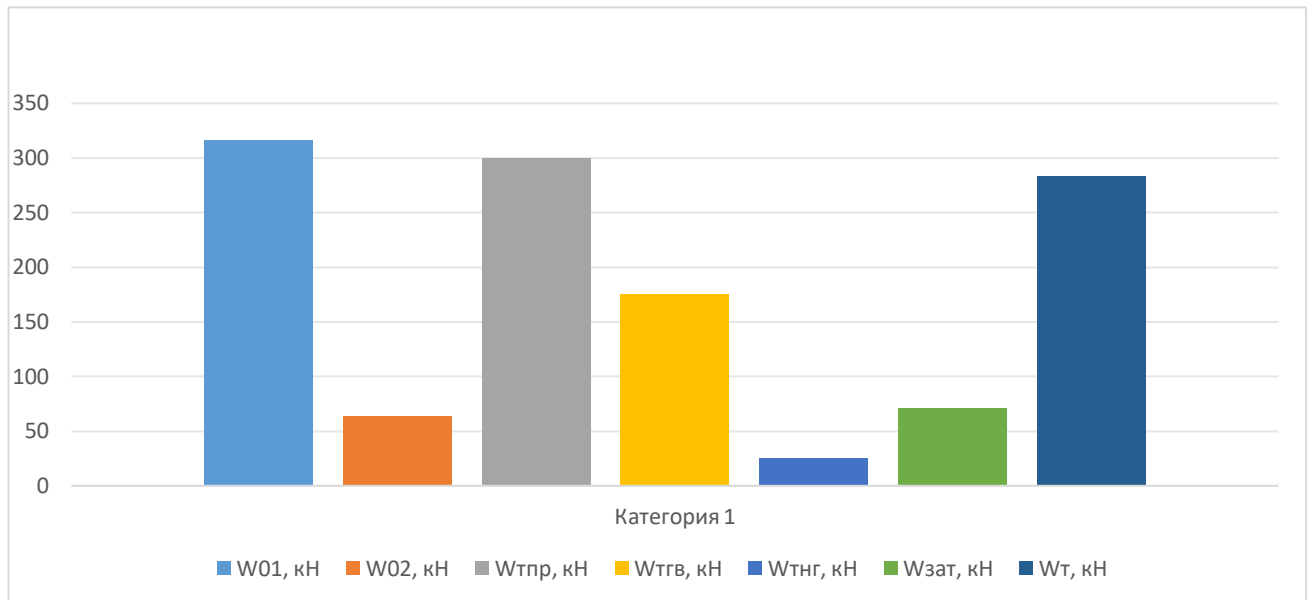


Рис. 2.6. Складові опори машини навантаженого стану бульдозера D475A

Таблиця 2.5

Результати зворотнього розрахунку товщини стружки

	$h_{СТР}$, мм	Доцільність роботи
ХТЗ ТС-5	0,042	Ні
ХТЗ ТС-10	0,014	Ні
Caterpillar D3K2	Не долає сумарний опір	
Caterpillar D8R	0,1	Так
Komatsu 475A	0,035	Ні

На рисунках приведено результати складових опорів навантаженого стану з аналогічних розрахунків для інших умов робочого руху бульдозерів.

ТС-10 значення робочої швидкості було зменшено з 0,556 м/с до 0,52 м/с, отже тягова спроможність за двигуном збільшилась з 190 кН до 203 кН. Здійснено розрахунок складових опорів навантаженого стану для ґрунту 1-ої категорії, та товщиною стружки 0,15 м.

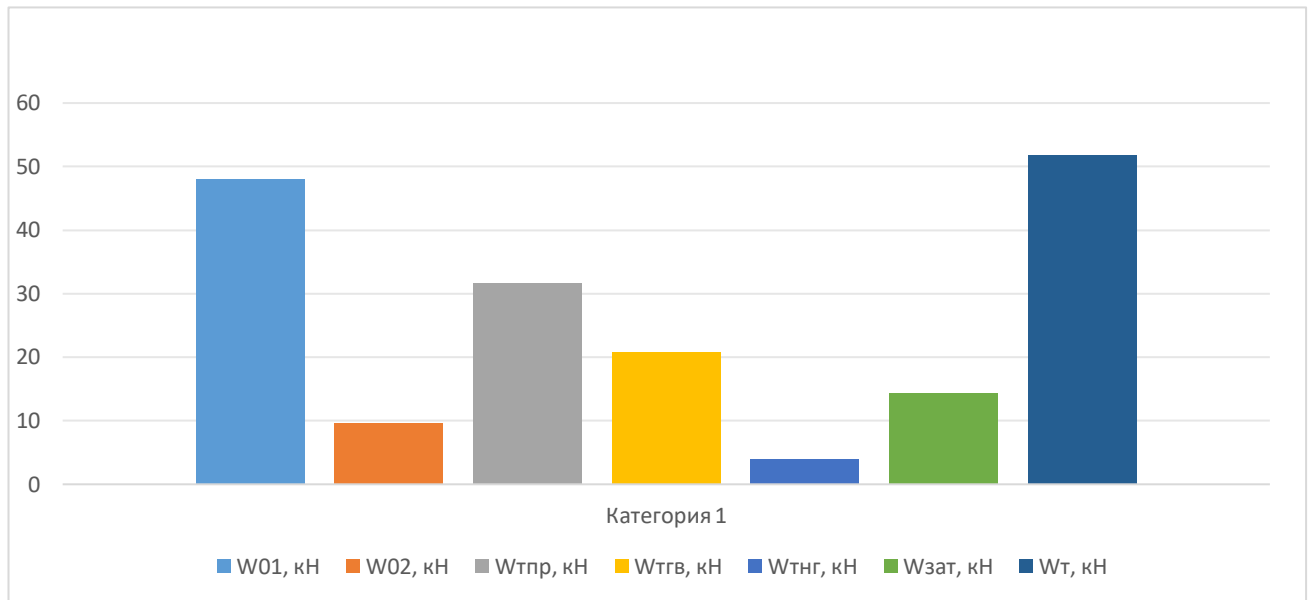


Рис. 2.7. Змінені складові опори машини навантаженого стану бульдозера ТС - 10.

ДЗК2 значення робочої швидкості було зменшено з 0,556 м/с до 0,4 м/с, отже тягова спроможність за двигуном збільшилась з 82,7 кН до 110 кН. Здійснено розрахунок складових опорів навантаженого стану для ґрунту 1-ої категорії, та товщиною стружки 0,1 м.

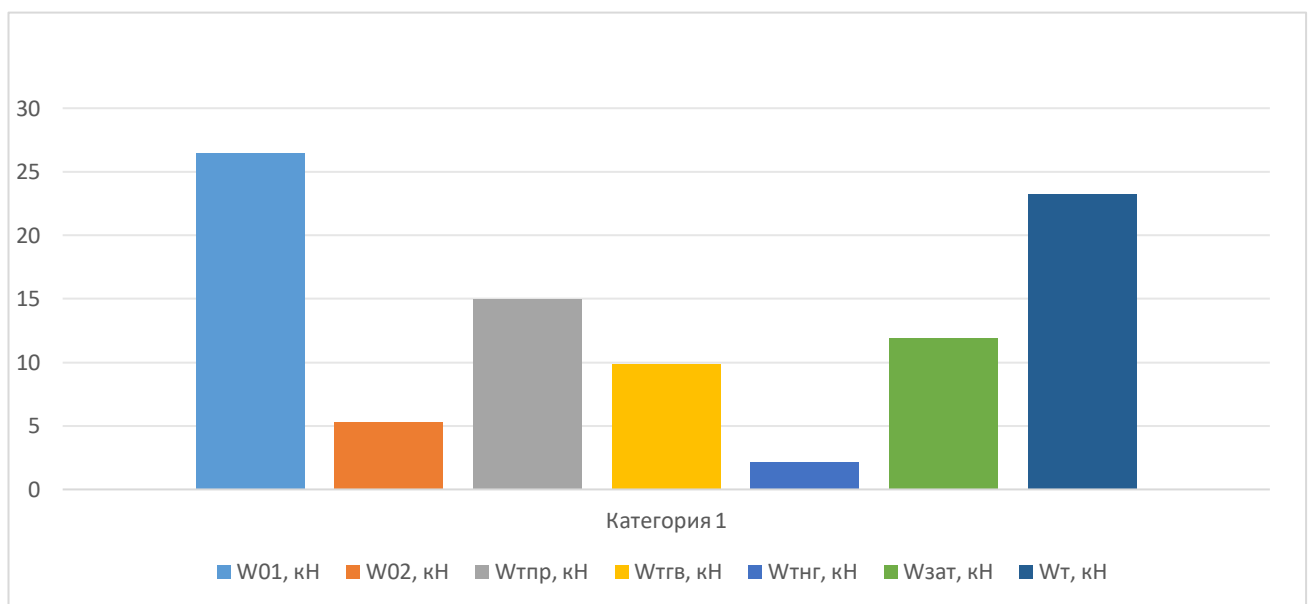


Рис. 2.8. Змінені складові опори машини навантаженого стану бульдозера D3K2

D8R здійснено розрахунок складових опорів навантаженого стану для ґрунту 3-ої категорії, та товщиною стружки 0,15 м.

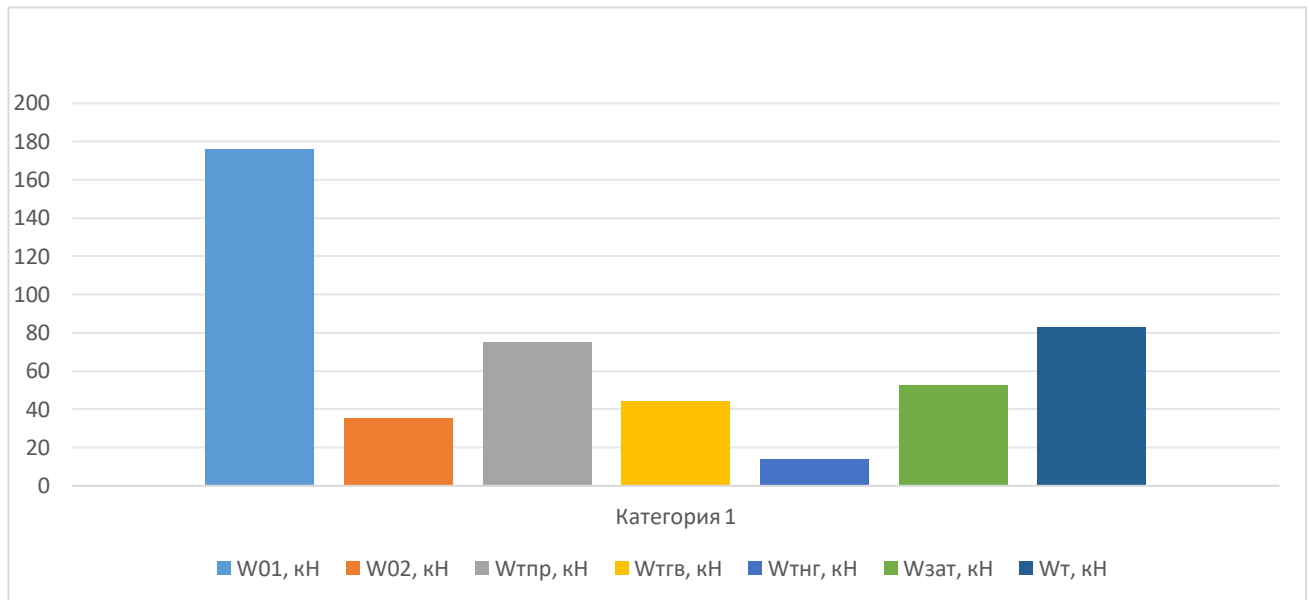


Рис. 2.9. Змінені складові опори машини навантаженого стану бульдозера D8R

Значення робочої швидкості бульдозера 475А було зменшено з 0,556 м/с до 0,41 м/с, отже тягова спроможність за двигуном збільшилась з 922 кН до 1250 кН.

Таблиця 2.6

Результати розрахунку

Найменування та розмірність параметрів		ХТЗ ТС-5	ХТЗ ТС-10	Caterpillar D3K2	Caterpillar D8R	Komatsu D475A
1		2	3	4	5	6
1	m_T , кг	8800	16000	7213	26500	100500
2	m_B , кг	500	900	500	1500	2000
3	N_1 , кВт	132	132	55	342	641
4	M_1 , Нм	667	667	558	1350	3060
5	ω_1 , с ⁻¹	20	20	23	35	33
6	u_{TP}	12	16	16	30	42
7	$K_{ПИТ}$, МПа	0,3 (0,1)	0,3 (0,1)	0,3 (0,1)	0,3	0,3
8	b , м / H , м	3,24/1,2	3,2/1,2	2,65 /0,91	3,9/1,69	5,27/2,69

Таблиця 2.6 закінчення

	1	2	3	4	5	6
9	$[\sigma_{3M}]$, МПа	0,27 (0,09)	0,27 (0,09)	0,27 (0,09)	0,27	0,27
10	$\gamma_{ГР}$, кг/м ³	1700				
11	$h_{СТР}$, м; / δ , град.	0,2 /55	0,2(0,15) /55	0,2(0,1) /55	0,2(0,15) /55	0,2 /55
12	α , град.	0				
13	a , м	0,05				
14	H_M , м	2,5	3,15	2,763	3,450	4,59
15	B , м	1,435	1,88	1,495	2,083	2,77
16	p_B , Па	200				
17	R_2 , м	0.33	0,42	0.37	0,45	0,68
18	v , м/с	0.556 (0.52)	0.556 (0.52)	0.556 (0.4)	0.556	0.556

Таблиця 2.7

Результати розрахунку сил рівняння силового балансу машини

	$T_{зчд}$, кН	T_{N_2} , кН	$\sum_{i=1}^n W_i$, кН
ХТЗ ТС-5	205.2	189.9 (203.1)	382 (186.9)
ХТЗ ТС-10	381.7	201.1 (203.1)	479.3 (180)
Caterpillar D3K2	204.2	82.7 (110)	293.2 (94)
Caterpillar D8R	617.8	492.1 (526.2)	736.1 (518.9)
Komatsu D475A	2262	922 (1250)	1234

2.6. Висновки за розділом

Задля визначення сили тяги для виконання основних завдань у заданих умовах експлуатації приведені характеристики машин: ХТЗ ТС-5, ХТЗ ТС-10, Caterpillar D3K2, Caterpillar D8R, Komatsu D475A.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Взаємодія гусениць з поверхнею забезпечує необхідне зчеплення для роботи. Урахування динамічної сили тяги бульдозера за зчепленням допомогло оцінити можливість роботи машини без пробуксовування.

Розрахунок сили тяги бульдозера за двигуном показав, що всі перелічені машини мають недостатню потужність двигуна для виконання робіт з ґрунтом 3-ї категорії зі швидкістю 2 км/год. Але відповідність потужності двигуна і передавального числа трансмісії дозволяє підвищити потужність двигунів при менших швидкостях.

Розрахунок опорів руху машин від бульдозерного обладнання при його роботі продемонстрував, що значення дотичної складової опору відділення ґрунту від масиву є суттєвим.

Перерахунок опорів руху машини при оптимальній роботі показав, що за оптимальних умов (правильний вибір категорії ґрунту, швидкості, товщини стружки) рівень опору суттєво знижується, що підвищує продуктивність роботи.

					ДІПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОЇ ЗАСТОСУВАННЯ БУЛЬДОЗЕРА-УЩІЛЬНЮВАЧА

3.1. Формування варіантів технологічних схем застосування бульдозера-ущільнювача

Для кожного бульдозера сформовано 3 відвали-ущільнювачі: з однією парою, з двома парами, та з трьома парами ножів. Спираючись на попередні розрахунки, розроблено ножові системи, які відповідають робочим умовам. Тобто, конструкцію ножової системи створено відносно оптимальної товщини стружки. Внаслідок чого, виявляється, що конструкція ножової системи впливає на рівень ущільнення ґрунту, площу контакту системи з ґрунтом.

Для візуального порівняння створено ескізи відвалів-ущільнювачів.

Ножову систему бульдозера ТС-5 розроблено для копання ґрунту 1-ї категорії на товщину стружки 200 мм (рис. 3.1).

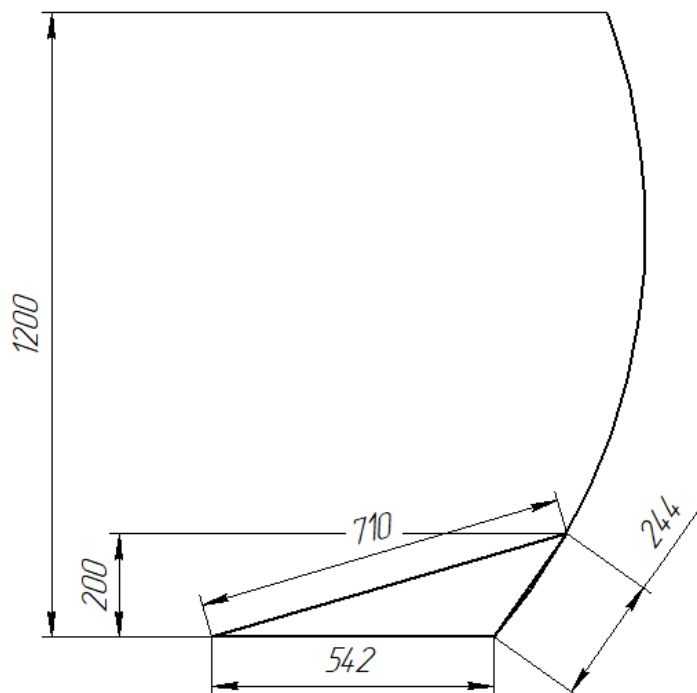


Рис. 3.1. Відвал-ущільнювач ТС-5 з ножовою системою у режимі копання

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

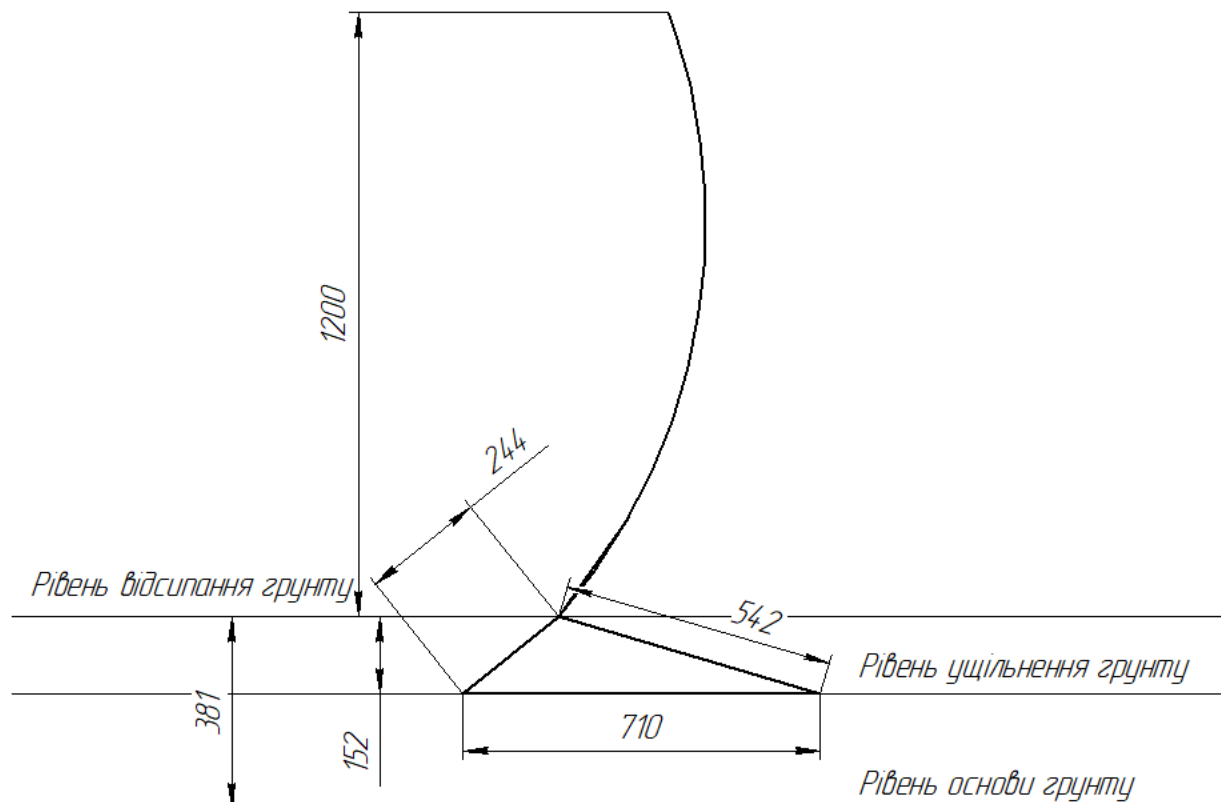


Рис. 3.2. Відвал-ущільнювач ТС-5 з ножовою системою у режимі ущільнення

Ножову систему бульдозера ТС-10 розроблено для копання ґрунту 1-ї категорії на товщину стружки 150 мм (рис. 3.3).

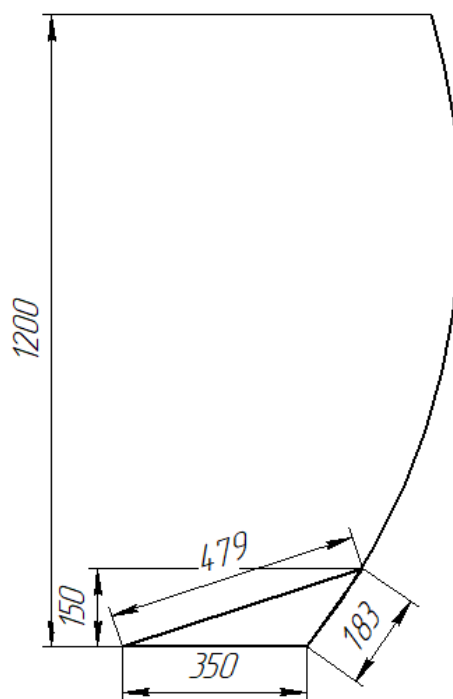


Рис. 3.3 Відвал-ущільнювач ТС-10 з ножовою системою у режимі копання.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

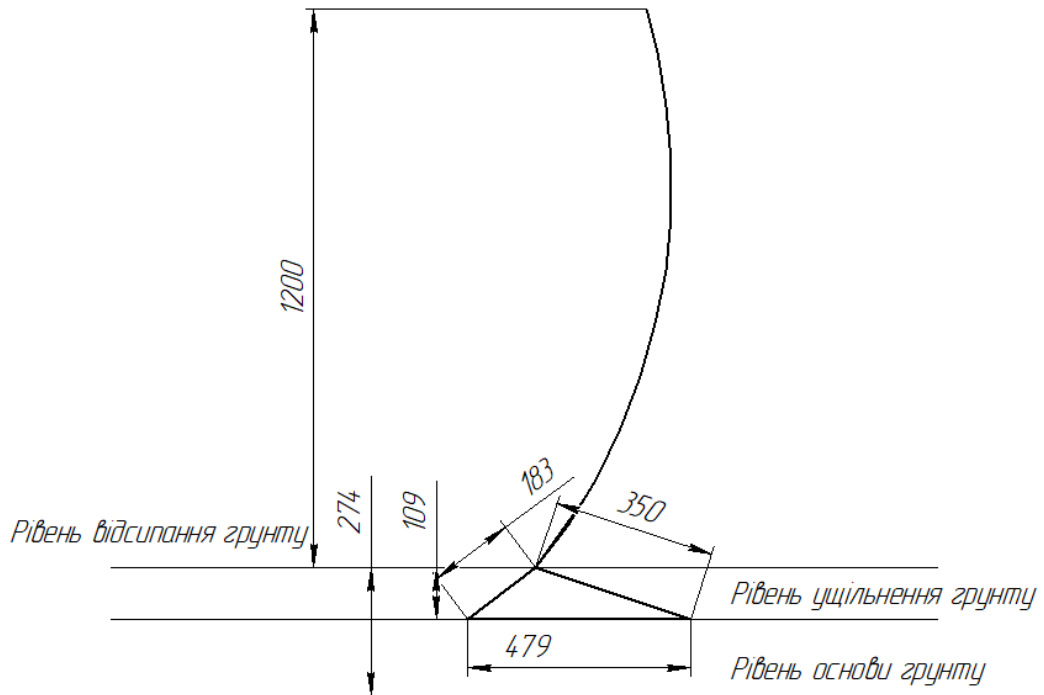
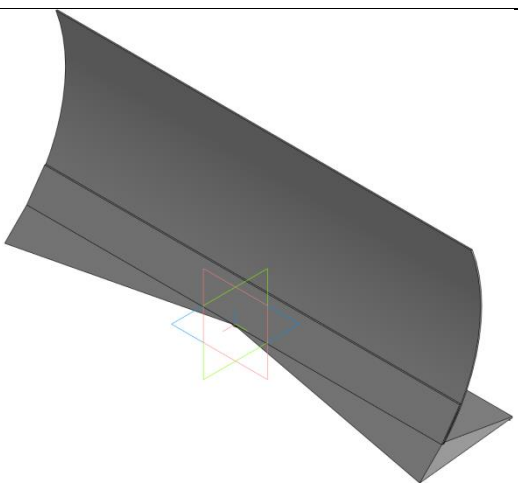
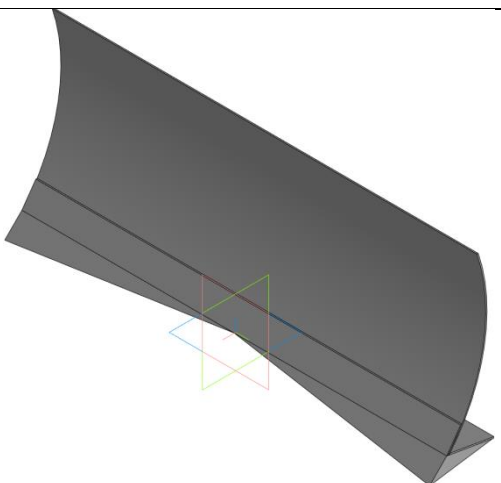


Рис. 3.4. Відвал-ущільнювач ТС-10 з ножовою системою у режимі ущільнення

Таблиця 3.1

Ескізи ножових систем бульдозерів ТС-5 та ТС-10 у режимі ущільнення

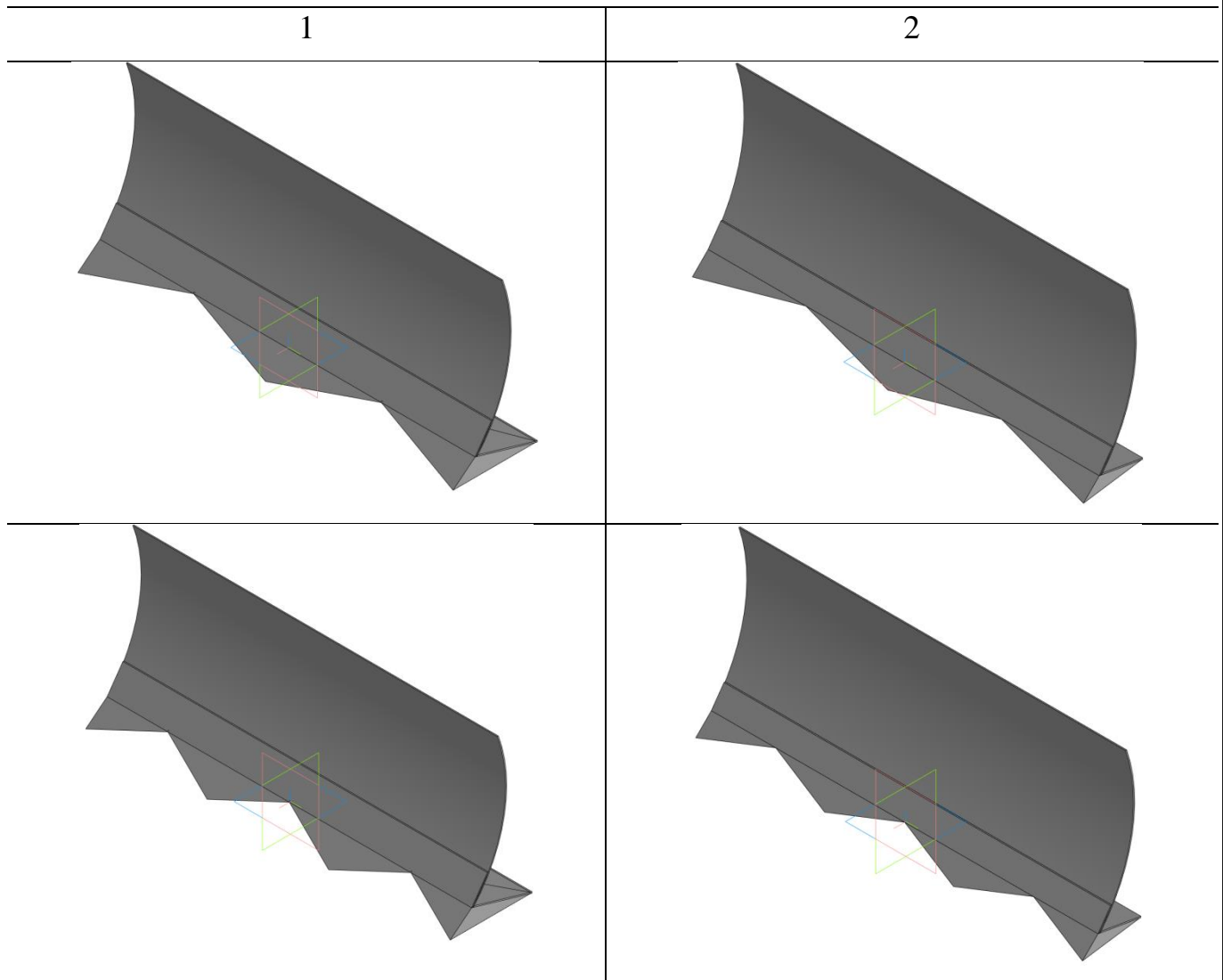
ТС-5	ТС-10
1	2
	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПТ.630000.303.МРПЗ

Арк.

42



Ножову систему бульдозера D3K2 розроблено для копання ґрунту 1-ї категорії на товщину стружки 100 мм.

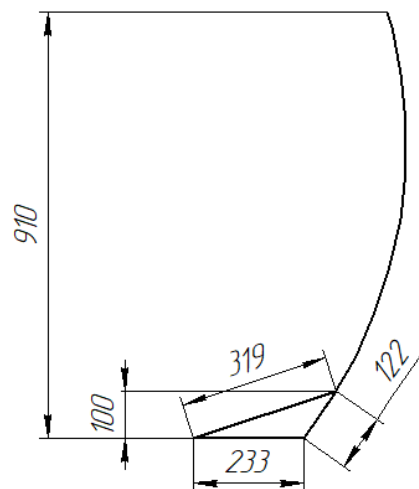


Рис. 3.5 Відвал-ущільнювач D3K2 з ножовою системою у режимі копання

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

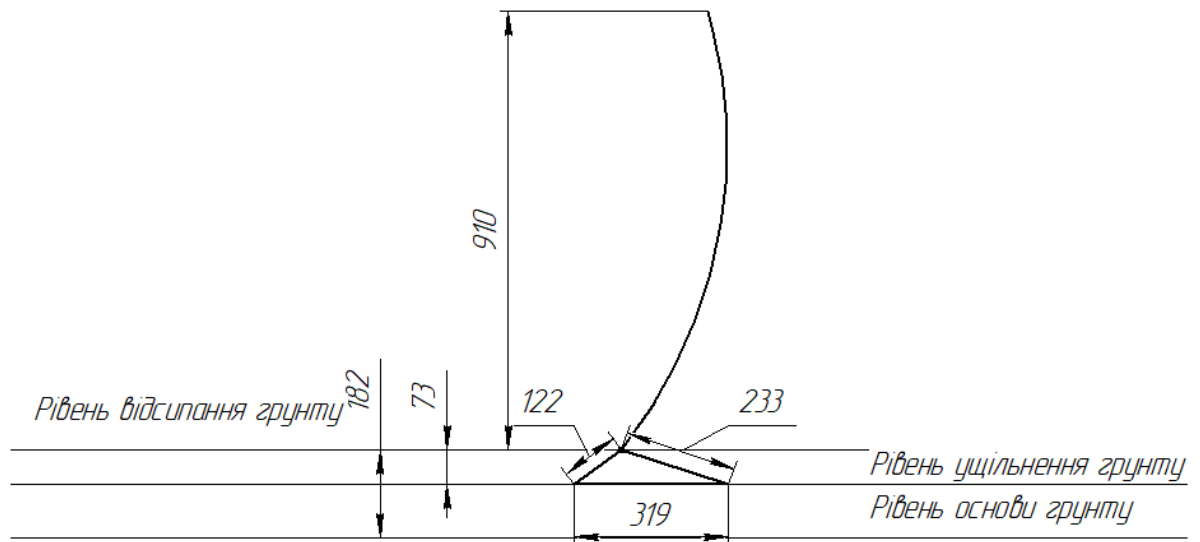


Рис. 3.6. Відвал-ущільнювач D3K2 з ножовою системою у режимі ущільнення

Ножову систему бульдозера D8R розроблено для копання ґрунту 3-ї категорії на товщину стружки 150 мм (рис. 3.7).

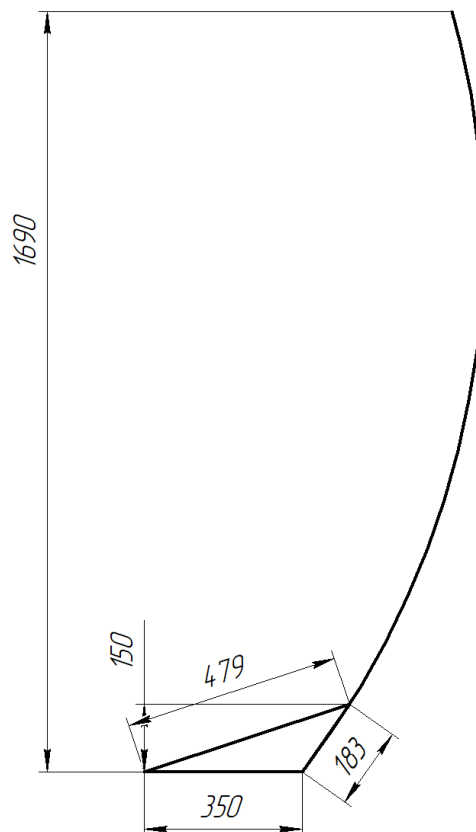


Рис. 3.7. Відвал-ущільнювач D8R з ножовою системою у режимі копання

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

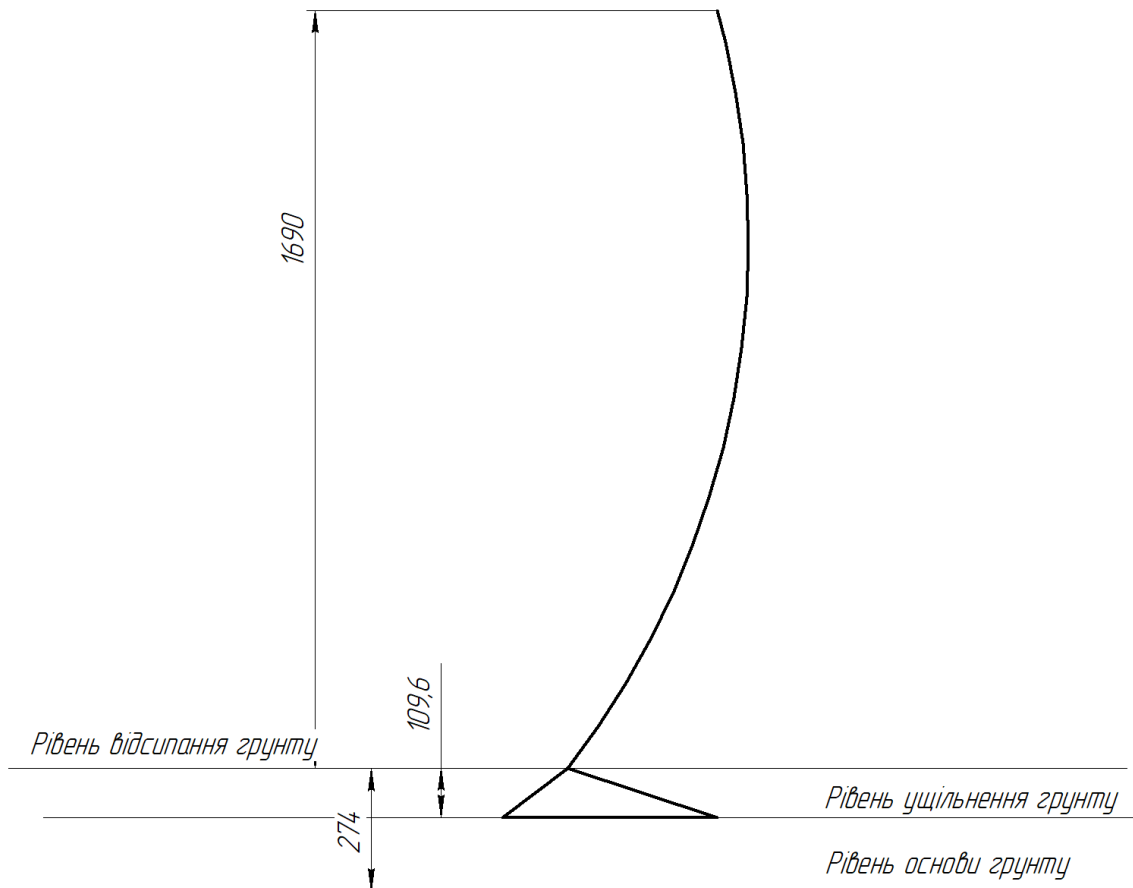
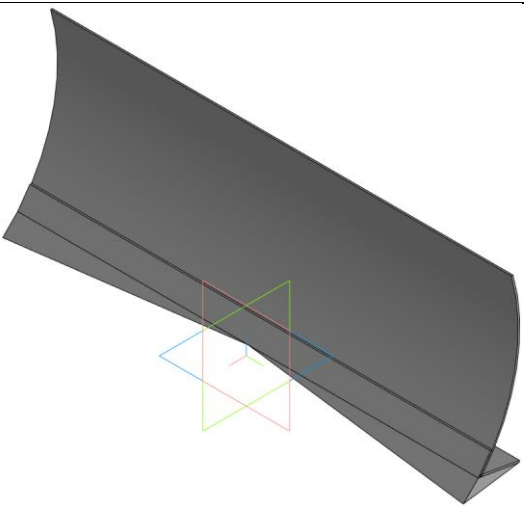
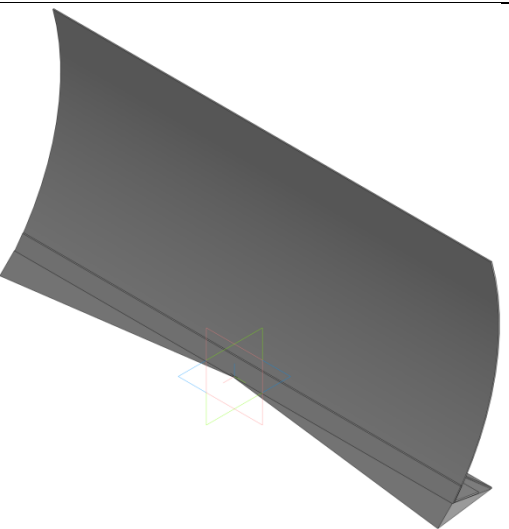
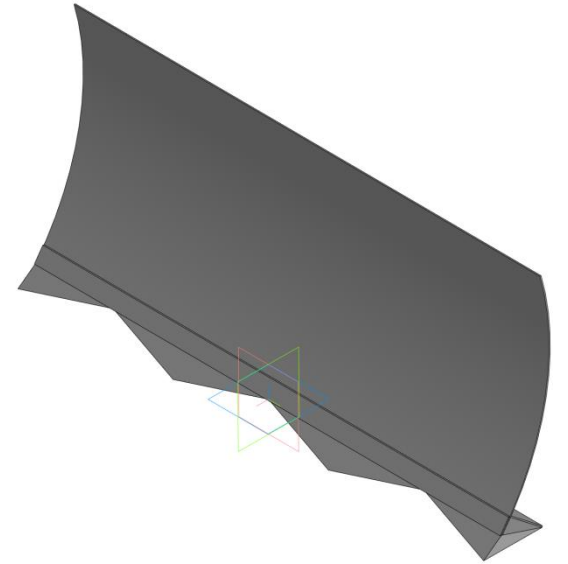
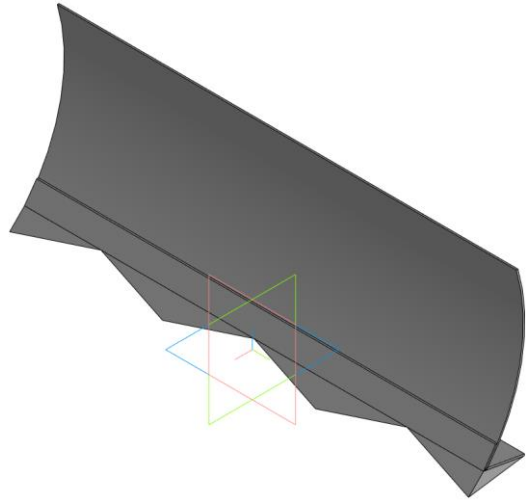
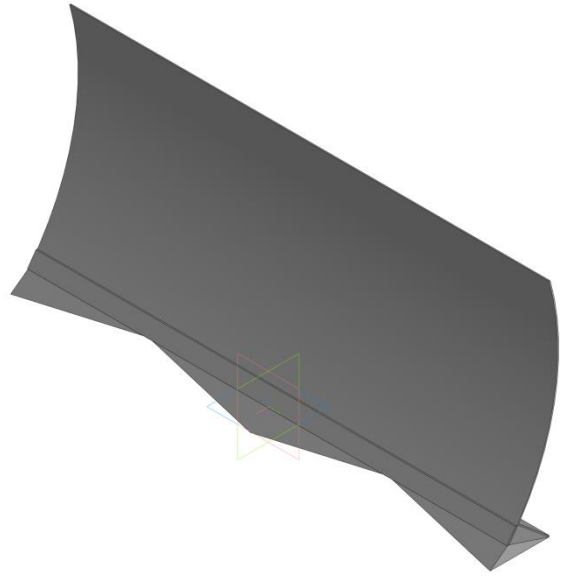
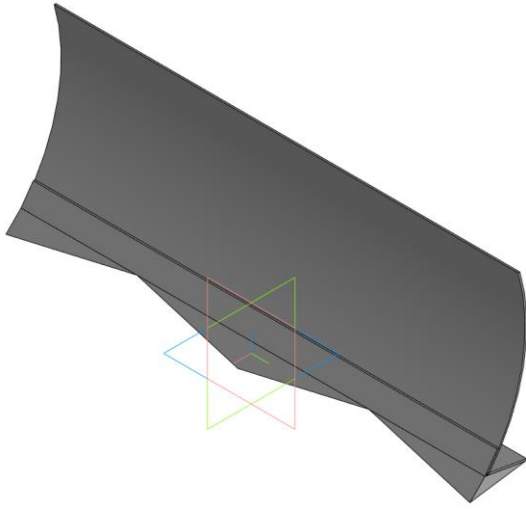


Рис. 3.8. Відвал-ущільнювач D8R з ножовою системою у режимі ущільнення

Таблиця 3.2

Ескізи ножових систем бульдозерів D3K2 та D8R у режимі ущільнення

D3K2	D8R
1	2
	



Ножову систему бульдозера 475А розроблено для копання ґрунту 3-ї категорії на товщину стружки 300 мм (рис. 3.9).

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДПТ.630000.303.МРПЗ

Арк.

46

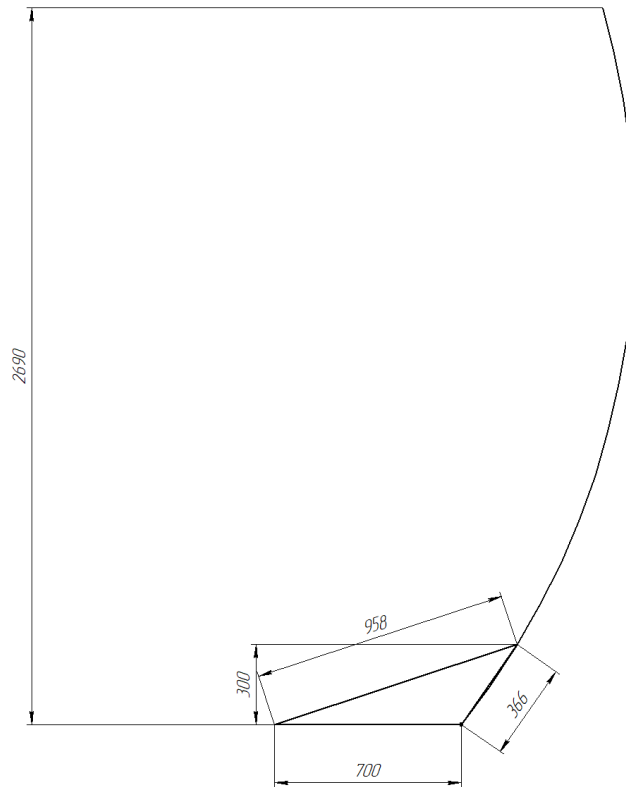


Рис. 3.9. Відвал-ущільнювач 475А з ножовою системою у режимі копання

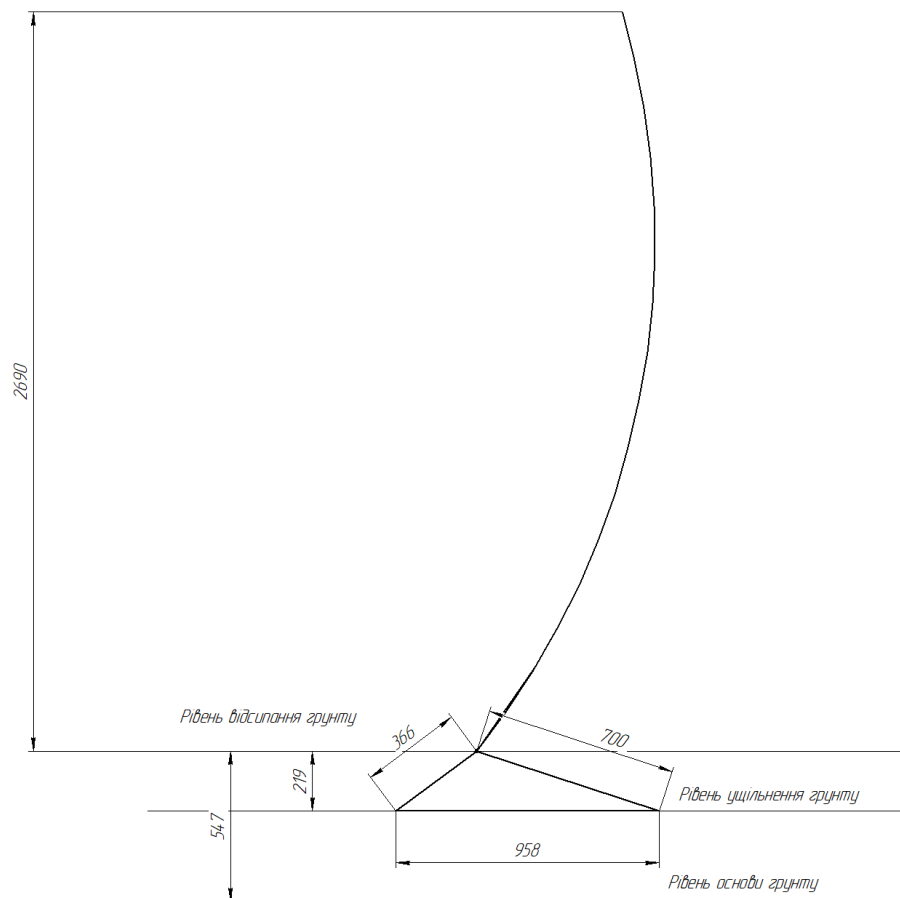


Рис. 3.10. Відвал-ущільнювач 475А з ножовою системою у режимі ущільнення

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

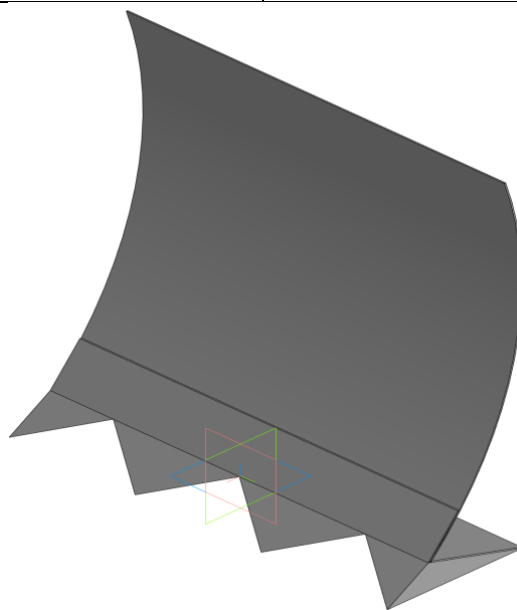
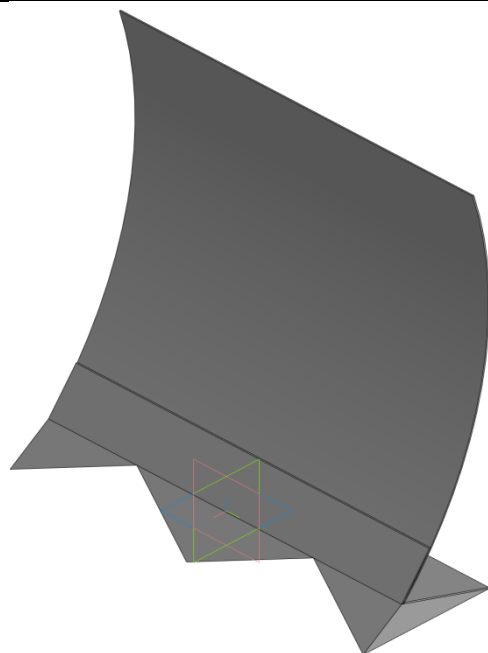
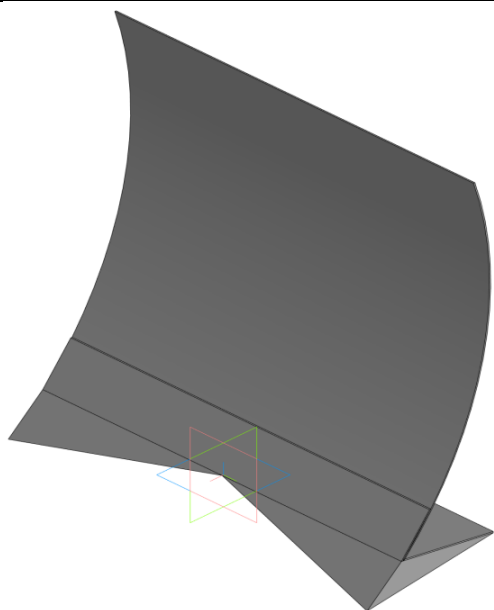
ДІТ.630000.303.МРПЗ

Арк.

47

Ескізи ножових систем бульдозера 475А у режимі ущільнення

475А

**3.2. Теоретичні дослідження параметрів робочого обладнання**

В цьому розрахунку у ножовій системі є внутрішній кут альфа, він дорівнює куту розміщення ножової системи по відношенню до горизонталі. W_1 – це горизонтальна складова опору копанню. Але кут альфа може бути кутом нахилу похилої частини ножової системи до горизонталі. Тобто, запропонована ножова система, в цьому розрахунку повинна розміщатися так, щоб довга сторона її була

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

строго горизонтальна. Саме для цих умов ми можемо провести наступний розрахунок.

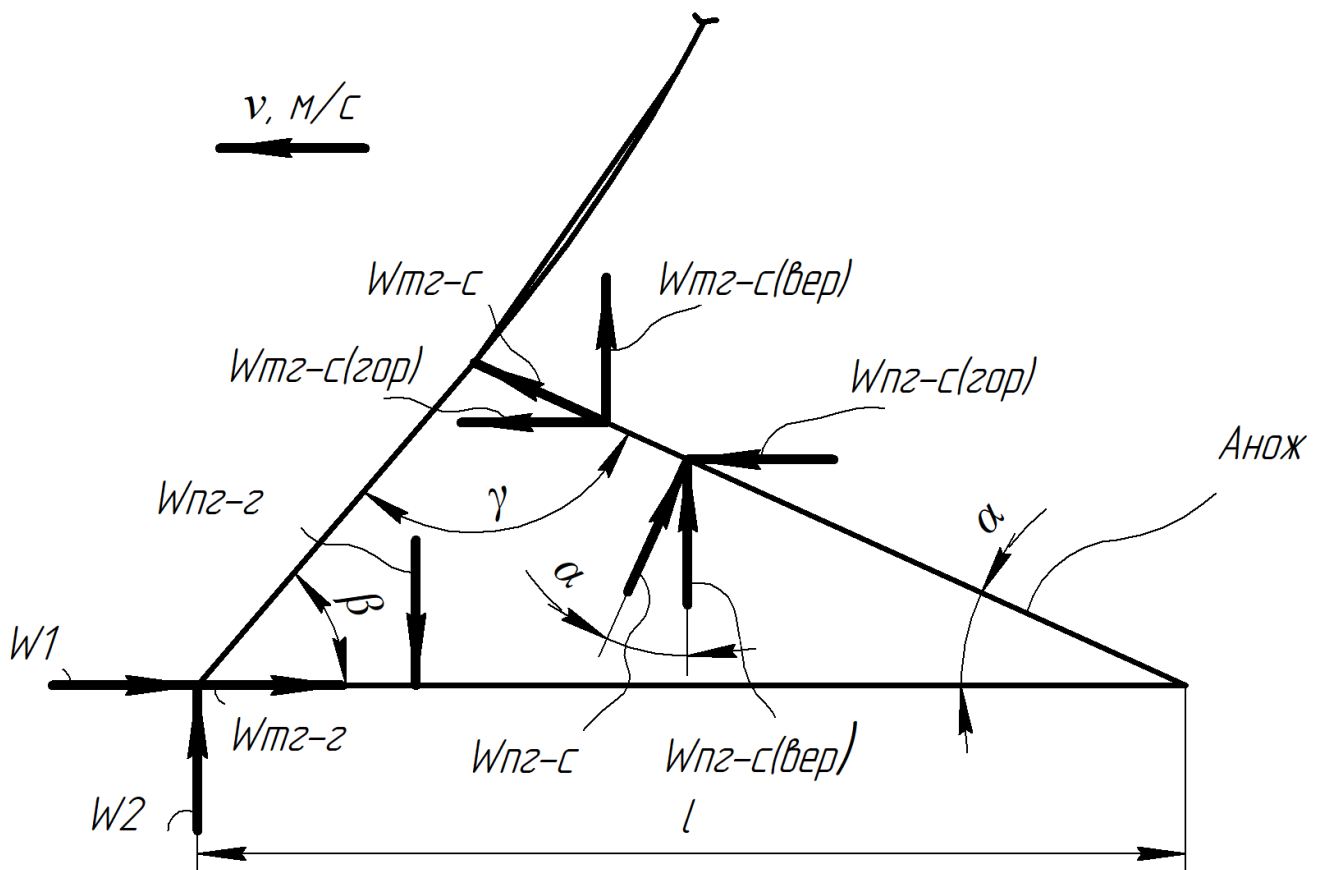


Рис. 3.11. Схема сил, що діють при ущільненні: W_1 - дотична складова опору ущільнення ґрунту; W_2 - нормальна складова опору ущільнення ґрунту; $W_{пг-г}$ - сила притискання ґрунту по ґрунту; $W_{пг-с}$ - сила притискання ґрунту по сталі; $W_{тг-г}$ - сила тертя ґрунту по ґрунту; $W_{тг-с}$ - сила тертя ґрунту по сталі; v - швидкість; l - довжина ділянки ножової системи; Анож - площа контакту ґрунту з ножовою системою та плитою

Горизонтальна площа тертя ґрунту по ґрунту:

$$S = B \cdot L = 3,24 \cdot 0,71 = 2,3 \text{ м}^2. \quad (3.1)$$

Тиск ґрунту на ґрунту:

$$\sigma_{гр1} = \frac{W_{01}}{\mu_{гг} \cdot S} = \frac{64800}{0,75 \cdot 2,3} = 37560 \text{ Па} . \quad (3.2)$$

Сила тертя ґрунту по сталі:

$$W_{тгс} = \sin(\beta) \cdot \frac{W_{01}}{\sin(\gamma)} = 0,625 \cdot \frac{64800}{0,819} = 49410 \text{ Н} . \quad (3.3)$$

Вихідні дані розрахунку тиску ножових систем

Параметр	Значення
Анож	2.0343 м ²
	2.0494 м ²
	2.0742 м ²
W01	64,8 кН
B	3,24 м
L	0,71 м
α	16° 20'
μгг	0,75
μгс	0,4
W01	64,8 кН
B	3,24 м
L	0,71 м
α	16° 20'
β	38° 40'
γ	125°

Сила притискання ґрунту по сталі:

$$W_{\text{пгс}} = \frac{W_{\text{тгс}}}{\mu_{\text{гс}}} = \frac{49410}{0.4} = 123500 \text{ Н} . \quad (3.4)$$

Тиск ножової системи з парою ножей на ґрунт:

$$\sigma_{\text{гр2}} = \frac{W_{\text{пгс}}}{A_{\text{нож1}}} = \frac{123500}{2.034} = 60720 \text{ Па} \quad (3.5)$$

Тиск ножової системи з двома парами ножей на ґрунт:

$$\sigma_{\text{гр3}} = \frac{W_{\text{пгс}}}{A_{\text{нож3}}} = \frac{123500}{2.049} = 60270 \text{ Па}.$$

Тиск ножової системи з трьома парами ножей на ґрунт:

$$\sigma_{\text{гр4}} = \frac{W_{\text{пгс}}}{A_{\text{нож2}}} = \frac{123500}{2.074} = 59550 \text{ Па}.$$

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Результати розрахунку тиску ножових систем

	$\sigma_{гр1}$, МПа	$\sigma_{гр2}$, МПа		$\sigma_{гр3}$, МПа	$\sigma_{гр4}$, МПа
ТС-5	0,038	0,061		0,06	0,06
ТС-10	0,041	0,069		0,069	0,068
D3K2	0,039	0,069		0,069	0,068
D8R	0,069	0,092		0,092	0,091
475A	0,069	0,138		0,137	0,135

4.3. Визначення продуктивності робочого обладнання

З огляду на результати розрахунку тиску ножових систем, можна сказати, що конструкції з різними кількостями пар ножів мають різницю тисків у незначній мірі. Значення тисків на ґрунт ножових систем бульдозерів ТС-5, ТС-10, D3K2, D8R не перевищує межу міцності ґрунту на зминання для 1-ї категорії (0.1 МПа), тиск ножової системи бульдозера 475A перевищує межу міцності ґрунту на зминання для 1-ї категорії, але менше 2-ї категорії.

Але, даний розрахунок зроблений за умовою максимального навантаження, тобто коли бульдозер копає ґрунт. При копанні він працює з міцною структурою, тобто має більший питомий опір копання. Якщо бульдозер буде тільки переміщати вже вирізаний ґрунт, то питомий опір копання W_1 не буде мати сенсу, тому що він використовується тільки при копанні ґрунту. При транспортуванні ґрунту перед відвалом, в нього виникає сила тертя ґрунту по ґрунту, сила тертя ґрунту по сталі, сила опору ущільнення, замість сили копання ґрунту, загального опору копання.

ВИСНОВКИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ

Розробка бульдозерного відвала-ущільнювача додає до можливостей бульдозера часткове ущільнення ґрунту. Така пропозиція ножової системи розширює технологічні можливості, не потребує великих вартісних витрат при виготовленні.

На основі класифікації за потужністю та тяговою силою в роботі вибрані моделі різних класів (легкий, середній, важкий та надважкий), що дозволило виконати детальні розрахунки.

Розрахунок динамічної сили тяги бульдозерів показали, що потужності двигунів недостатньо для ефективної роботи з ґрунтом 3-ї категорії на швидкості 2 км/год. Однак оптимізація передавальних чисел трансмісії може компенсувати цей недолік при зниженні швидкості. Розрахунок опору руху продемонстрував важливість правильного вибору умов експлуатації (категорії ґрунту, швидкості, товщини стружки) для підвищення продуктивності.

Розрахунки тиску ножових систем на ґрунт показали, що у більшості випадків тиск систем ножів не перевищує межу міцності ґрунту на зминання для 1-ї категорії, окрім моделі 475А, яка відповідає міцності ґрунту 2-ї категорії. Це вказує на необхідність адаптації конструкції ножів до технологічних вимог залежно від умов роботи. При роботі з переміщенням ґрунту, а не з копанням, питомий опір копання не враховується, що знижує загальний опір.

Маючи початкові цифри, можна порівнювати подальші розрахунки, розширювати їх, уточнювати. Подальша робота може продовжуватися в частині зміни параметрів ножових систем, які взяті за основу.

Також можна запропонувати до даного технічного рішення використання вібраційної системи. Коливальний рух цієї ножової системи призведе до більш активного ущільнення ґрунту, навіть більшої товщини відсипання ґрунту для його ущільнення, тому що сили тертя перестануть бути впливовими. Час від часу ніж буде відриватися від ґрунту і тиснути на нього імпульсами. І в цьому випадку сила тертя буде менша, тому що при достатній частоті коливання між похилим ножом і ґрунтом буде невеличкий зазор, який буде забезпечувати рух машини вперед. З вібрацією цей процес ущільнення прискориться, при цьому і товщина насипаного ґрунту може бути більшою.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Хмара Л. А. та ін. модернізація та підвищення продуктивності будівельних машин машин [Текст]: / Л. А. Хмара, М. П. Колесник, Б. П. Станевський.— К.: Будівельник, 1992.— 152 с.
2. Технічна документація - ХТЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://xtz.ua/ua/technical-doc.html>.
3. Трактор ХТЗ-150К-09-25 ЯМЗ-236 180 л.с. - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/htz-150k-09-25/>.
4. Трактор ХТЗ-242К.20 - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/traktor-htz-242k/>.
5. Трактор Т-150-05-09-25-04 ЯМЗ-236Д-3 180 л.с. - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/t-150-05-09-25/>.
6. Трактор ХТЗ-17021 (двигатель - ВФ6М1013Е, 190 л.с.) - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/htz-17021/>.
7. ХТЗ-181.22 - ХТЗ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://xtz.ua/ua/gusenychni-tractory/xtz-181-22.html>.
8. ЮМЗ-6 - wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%AE%D0%9C%D0%97-6>.
9. ЮМЗ 8244.2 - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/traktor-yumz-82442/>.
10. ТРАКТОР ЮМЗ-10264Н с двигателем (Deutz) - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/traktor-yumz-10264n/>.
11. ЮМЗ 8040 - wikipedia [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AE%D0%9C%D0%97_8040_\(%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%AE%D0%9C%D0%97_8040_(%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80)).

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

12. Трактор ХТА-200-02М (двигатель - Д-260.4, 210 л.с.) - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/khta-200-ru/>.

13. Трактор ХТА-200-02М (двигатель - Д-260.4, 210 л.с.) - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/hta-200-02m-ru/>.

14. ТРАКТОР ЮМЗ-10264Н с двигателем (Deutz) - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/traktor-hta-220-2-slobojanets-yamz-238m2-240-1.s./>.

15. Трактор ХТА-250-13 Слобожанец TAD 721VE 265 л.с. - Компанія Техніка и технології [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t-i-t.com.ua/hta-250-13/>.

16. Caterpillar D3K2 XL Технічні характеристики та технічні дані [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lectura-specs.com.ua/ua/model/budivel-na-tehnika/gusenichni-bul-dozeri-caterpillar/d3k2-xl-11691927>.

17. Caterpillar D8R Технічні характеристики та технічні дані [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lectura-specs.com.ua/ua/model/budivel-na-tehnika/gusenichni-bul-dozeri-caterpillar/d8r-11731458>.

18. Бульдозер TDC B6 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://tdc.ua/ru/spectehnika/buldozer-tdc-b6>.

19. Купити гусеничний бульдозер Komatsu Сумітек Україна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sumitec.com.ua/ru/product-category/tehnika-komatsu/buldozery/gusenichnye-buldozery/>.

20. Дослідження і розробка відвала бульдозера з комбінованою ножовою системою К.Ц. Главацький, доц., к.т.н., О.В. Середа, здоб., Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/569b6ede-cdce-4dfa-983e-4b85fe4a5b21/content>.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Опис до патенту на винахід бульдозерне обладнання. Главацький Казимир Цезарович, Горбенко Юрій Олександрович, Проскурня Віталій Миколайович, Черкудінов Володимир Едуардович [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/b2f26e33-2960-4e42-9fd6-d6e796176c13/content>.

22. Опис до патенту на корисну модель бульдозерне обладнання. Главацький Казимир Цезарович, Горбенко Юрій Олександрович, Попова Олена Сергіївна, Черкудінов Володимир Едуардович [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/c64c978c-023a-450e-b437-13d4ca2ff5ff/content>.

23. База патентів України Відвал бульдозера з комбінованою ножовою системою Автори: Главацький Казимир Цезарович, Проскурня Віталій Миколайович, Краснощок Сергій Леонідович, Дорогокупля Максим Олександрович, Серета Оксана Володимирівна, Богомаз Володимир Миколайович [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ua.patents.su/12-112205-vidval-buldozera-z-kombinovanoyu-nozhovoyu-sistemoyu.html>.

24. Прус Н. В. Дослідження і розробка бульдозерного відвала-ущільнювача / Прус Н. В., Главацький К. Ц. / [Текст]: Наука і сталий розвиток транспорту 2023”. Збірник тез доповідей Всеукраїнської науково-технічної конференції студентів і молодих учених. Том 2. М. Дніпро, УДУНТ, 2023 - с. 141. С. 127-128.

25. Прус Н. В. Дослідження і розробка бульдозерного відвала-ущільнювача / Прус Н. В., Главацький К. Ц. / [Текст]: Наука і сталий розвиток транспорту 2024. Т.ІІ: зб. тез доп. Всеукр. наук.-техн. конф. студентів і молодих учених, Дніпро, 27 листоп. 2024 р.-Дніпро: УДУНТ, 2024.- 204 с. С. 142.

					ДПТ.630000.303.МРПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		